

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AF

(11)Publication number : 2000-231063

(43)Date of publication of application : 22.08.2000

(51)Int.Cl.

G02B 26/00
G02B 6/293
H04B 10/02

(21)Application number : 11-362881

(71)Applicant : JDS UNIPHASE INC

(22)Date of filing : 21.12.1999

(72)Inventor : COPNER NIGEL
PAIAM REZA
FARRIES MARK
COLBOURNE PAUL
PHILIPSON JOSHUA B J
KEYWORTH BARRIE
XIE JIMIN
FU XIAOLI

(30)Priority

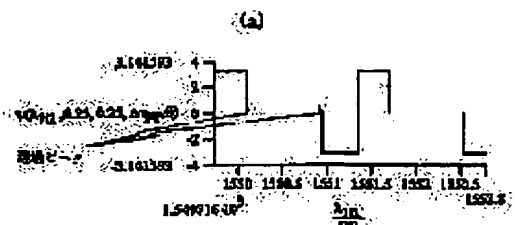
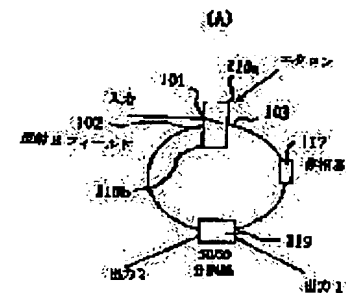
Priority number : 98 2256963	Priority date : 23.12.1998	Priority country : CA
99 275962	25.03.1999	
99 338925	23.06.1999	US
99 2278358	22.07.1999	
99 358445	22.07.1999	US
99 383069	26.08.1999	
99 409434	30.09.1999	CA
		US
		US
		US

(54) INTERFERENCE TYPE OPTICAL DEVICE INCLUDING OPTICAL RESONATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To separate a light signal having channels isolated in proximity to two light signals by an optical beam coupling means which is optically connected to the first and second ports of a resonance light cavity and is coupled so as to interfere light emerging from the first and second ports in order to supply light output.

SOLUTION: A phase shifter 117 for delaying the light signal is optically coupled to the third port 103 at the end of a Fabry-Perot etalon 110. A 50/50 divider 119 is arranged and optically coupled between the output end of the phase shifter 117 and the second port 102 of the Fabry-Perot etalon 110. When incident light is made incident on the input port 101 of the etalon, a phase difference between the coming back signal emanating from the end face 103 and the coming back signal emanating from the end face 102 is 0 or π radian and changes by each of all spectra transmission resonances. The fixation of the phase difference between the transmitted and reflected E fields is induced by the multiple interference effects in the etalon. Namely, a band-pass filter is embodied by causing the interference of the two coming back signals.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-231063

(P 2 0 0 0 - 2 3 1 0 6 3 A)

(43) 公開日 平成12年8月22日 (2000. 8. 22)

(51) Int. Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード (参考)
G02B 26/00		G02B 26/00	
6/293		6/28	B
H04B 10/02		H04B 9/00	U

審査請求 未請求 請求項の数78 O L 外国語出願 (全102頁)

(21) 出願番号	特願平11-362881	(71) 出願人	500003660 ジェイディーエス ユニフェイズ インコーポレイテッド JDS Uniphase Inc. カナダ オンタリオ州 K2G5W8 ネピアン ウェストハントクラブロード 570
(22) 出願日	平成11年12月21日 (1999. 12. 21)	(72) 発明者	ナイジェール コブナー カナダ オンタリオ州 KOA 2TO ノースゴウアー カーソンビーロードウエスト2184
(31) 優先権主張番号	2 2 5 6 9 6 3	(74) 代理人	100093894 弁理士 五十嵐 清
(32) 優先日	平成10年12月23日 (1998. 12. 23)		
(33) 優先権主張国	カナダ (C A)		
(31) 優先権主張番号	0 9 / 2 7 5 9 6 2		
(32) 優先日	平成11年3月25日 (1999. 3. 25)		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		
(31) 優先権主張番号	0 9 / 3 3 8 9 2 5		
(32) 優先日	平成11年6月23日 (1999. 6. 23)		
(33) 優先権主張国	米国 (U S)		

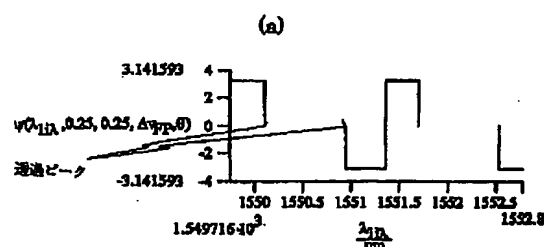
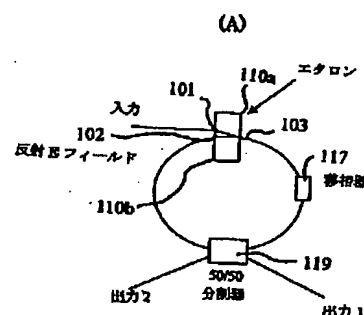
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光共振器を含む干渉計式光デバイス

(57) 【要約】

【課題】 光共振性リング共振器に結合された二つの導波路が、希望する出力応答を提供するためにそこで伝搬するビームを互いに干渉し、結合する方法および回路を開示する。

【解決手段】 光の多重化チャンネルは、多重分離化され、又は代わりに、これらの二つのビーム間の位相関係は、例えば波長固定のような応用に有用な線形化出力応答を提供するために、それらが結合されるに先立って変更され得る。FSRの反射率と結合比を変え、および/又は二つのビーム間の位相関係を変えて望む出力応答を実現できる。適切な結合比を提供することで、および、二つの導波路を結合するカプラーとリング共振器との間と同等の二つの導波路の光路長を提供し、および、カプラーを互いに180°反対に置くことで、インターリーバー/デインターリーバー機能は実現される。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第一および第二部分的透過型反射体を持つ共振光空洞と、光結合手段とを有し、前記共振光空洞は第一部分的透過型反射体に配置された第一ポートと第二部分的透過型反射体に配置された第二ポートを持ち、光ビーム結合手段は共振光空洞の第一および第二ポートに光学的に結合され、前記光ビーム結合手段は 1 つ以上の光出力を供給するために第一および第二ポートを出る光を干渉するように結合する構成としたことを特徴とするフィルタデバイス。

【請求項 2】 共振光空洞は入力ポートを持ち、第一および第二部分的透過型反射体に配置された第一および第二ポートはそれぞれ二つの出力ポートを持つことを特徴とする請求項 1 記載のフィルタデバイス。

【請求項 3】 中心波長が λ のチャンネルを持つ光信号を濾過可能と成し、第一および第二部分的透過型反射体は少なくとも 5λ 離れて配置されていることを特徴とする請求項 1 記載のフィルタデバイス。

【請求項 4】 光空洞はエタロンであり、第一および第二部分的透過型反射体はそれぞれエタロンの第一および第二端面であることを特徴とする請求項 3 記載のフィルタデバイス。

【請求項 5】 第一および第二導波路を持つ光リング共振器と、前記導波路間の二つの導波路内の光を結合させる光カプラーとを有し、第一および第二導波路の一方は濾過される入力信号を受ける端部を持ち、第一および第二導波路は、光を、一個以上の導波路から共振器に、および／又は共振器から一個以上の導波路に結合するために、それぞれ第一および第二位置において光共振器と光学的に結合され、前記光カプラーは出力端部が前記入力光の濾過を提供するように導波路に沿った位置にあることを特徴とするフィルタデバイス。

【請求項 6】 エタロンは低フィネスファブリ・ペローエタロンであることを特徴とする請求項 4 記載のフィルタデバイス。

【請求項 7】 さらに、第一および第二出力ポートと、光結合手段間にそれぞれ配置された第一および第二導波路アームとを有することを特徴とする請求項 4 記載のフィルタデバイス。

【請求項 8】 第一および第二導波路アームは光ファイバであることを特徴とする請求項 7 記載のフィルタデバイス。

【請求項 9】 さらに、光ファイバの少なくとも一本と、部分的透過型反射体の少なくとも一つの端面との間に配置された GRIN レンズと、移相手段とを有することを特徴とする請求項 8 記載のフィルタデバイス。

【請求項 10】 第一出力ポートと、第一および第二出力ポートを出る光ビームの結合手段との間に結合される第一導波路アーム、並びに第二出力ポートと、第一および第二出力ポートを出る光ビームが干渉するようにそれ

らを結合する前記光結合手段との間に結合される第二導波路アームを有することを特徴とする請求項 4 記載のフィルタデバイス。

【請求項 11】 第一および第二導波路アームに沿って伝搬する二つの光ビーム間の位相関係を変更するために第一および第二導波路アームの少なくとも一方に沿って配置された移相器を有することを特徴とする請求項 7 記載のフィルタデバイス。

【請求項 12】 第一および第二ポートの一方と光結合手段との間に配置された移相器を有することを特徴とする請求項 7 記載のフィルタデバイス。

【請求項 13】 移相器は二つのビーム間の位相差の補償を行うことを特徴とする請求項 11 記載のフィルタデバイス。

【請求項 14】 光結合手段は予め定めた分割比を持つ光分割器であることを特徴とする請求項 7 記載のフィルタデバイス。

【請求項 15】 共振光空洞は奇数の共振光空洞を有し、光空洞の少なくとも一つは 5λ の自由スペクトル域を持ち、中心波長が λ のチャンネルを持つ光信号を濾過可能と成した請求項 2 記載のフィルタデバイス。

【請求項 16】 光信号の二つのストリームを多重化およびデインターリーブする光共振器を持つ非対称インターリーバー／デインターリーバーを有し、二つのストリームは実質的に異なる帯域幅を持つことを特徴とするフィルタデバイス。

【請求項 17】 光共振器は二つのデインターリーブされたストリームに対して実質的に異なるチャンネルスペースを提供する鏡反射率を持つエタロンであることを特徴とする請求項 16 記載のフィルタデバイス。

【請求項 18】 絶縁を高めるために複数のエタロンを有することを特徴とする請求項 17 記載のフィルタデバイス。

【請求項 19】 実質的に視準する端部と実質的に焦点を結ぶ端部を持つ第一 GRIN レンズおよび第二 GRIN レンズと；第一および第二 GRIN レンズの実質的に視準する端部に配置されて光ビームが結合する結合領域を規定する第一光透過スペーサーおよび第二光透過スペーサーと；ビーム分割器フィルタと、第一および第二光透過スペーサー間に配置された第一および第二部分的透過型反射体とを持つ共振光空洞と；を有し、前記共振光空洞は第一部分的透過型反射体に配置された第一ポートおよび第二部分的透過型反射体に配置された第二ポートを持つことを特徴とするフィルタデバイス。

【請求項 20】 二つの光透過スペーサー間の少なくとも相対温度差を決定するために第一および第二スペーサーの周囲に配置された温度センサーを有することを特徴とする請求項 19 記載のフィルタデバイス。

【請求項 21】 光空洞に入るまたは光空洞を出る二つの光信号間の位相を変化するために、少なくとも一つの

光透過スパーサーの周囲に配置されたヒーターまたはクーラーを有することを特徴とする請求項 20 記載のフィルタデバイス。

【請求項 22】 それぞれ予め定められた波長帯域を持つ多重化光チャンネルを有し、少なくともチャンネルの一つは中心波長 λ を持つ入力ビームを濾過する方法において、少なくとも 5 λ 離れた距離で隔離された第一端面および第二端面を持つ共振光空洞に入力ビームを提供し、共振光空洞の第一端面からの第一出力ビームを共振光空洞の第二端面からの第二出力ビームで干渉して、濾過された一つ以上の出力ビームを作り出すことを特徴とするビーム濾過方法。

【請求項 23】 捕らえられた二つのビームを結合するのに先立って第一出力ビームと第二出力ビーム間の位相関係を変更するステップを有することを特徴とする請求項 22 記載の濾過方法。

【請求項 24】 位相関係を変更するステップは、デインターリーパーフィルタを提供するために第一および第二出力ビーム間の透過スペクトルピークの間隔で π の位相オフセットを提供するように行われることを特徴とする請求項 23 に記載のビームの濾過方法。

【請求項 25】 入力ビームを共振光空洞に提供し、共振光空洞の第一端面から第一出力ビームを捕らえ、共振光空洞の第二端面から第二出力ビームを捕らえ、一つ以上の濾過された出力ビームを作り出すために、それらが互いに干渉するように、捕らえられた二つのビームを結合することを特徴とする波長による線形化強度変化を提供する方法。

【請求項 26】 共振光空洞はエタロンであることを特徴とする請求項 25 記載の方法。

【請求項 27】 そこに結合された第一および第二導波路を持つ光共振器と、光を前記導波路間で二つの導波路に結合する光カプラーとを有し、第一および第二導波路の一方は、濾過される入力信号を受ける端部を持ち、第一および第二導波路は、光を、一個以上の導波路から共振器に、および／又は共振器から一個以上の導波路に結合するために、それぞれ第一および第二位置において光共振器と光学的に結合され、光カプラーは、出力端部が前記入力光の濾過を提供するように導波路に沿った位置にあることを特徴とするフィルタデバイス。

【請求項 28】 光共振器はリング共振器であることを特徴とする請求項 27 記載のフィルタデバイス。

【請求項 29】 光を一個以上の導波路から共振器に、および／又は共振器から一個以上の導波路に結合するために、第一および第二位置に第一および第二カプラーを有することを特徴とする請求項 28 記載のフィルタデバイス。

【請求項 30】 第一カプラーは、実質的に前記カプラーによって導波路中に留まるよりも多い光が共振器に結合されるように、結合比を少なくとも 80 : 20 に確保

することを特徴とする請求項 29 記載のフィルタデバイス。

【請求項 31】 第二カプラーは、実質的に共振器中に留まるよりも多い光が導波路に結合されるように、結合比を少なくとも 20 : 80 に確保することを特徴とする請求項 30 記載のフィルタデバイス。

【請求項 32】 第一カプラーは、実質的に前記第一および第二カプラーによって導波路中に結合されるよりも多い光が共振器に結合されるように、結合比を約 17 : 83 に確保したことを特徴とする請求項 29 記載のフィルタデバイス。

【請求項 33】 導波路に沿う位置において導波路間で二つの導波路内に光を結合する光カプラーは実質的に 50 : 50 カプラーであることを特徴とする請求項 29 記載のフィルタデバイス。

【請求項 34】 光カプラーは MMI カプラーであることを特徴とする請求項 29 記載のフィルタデバイス。

【請求項 35】 光カプラーは方向性カプラーであることを特徴とする請求項 29 記載のフィルタデバイス。

【請求項 36】 導波路の出力端部の出力信号は実質的にデインターリーブされることを特徴とする請求項 33 記載のフィルタデバイス。

【請求項 37】 導波路中に屈折率の変化を与える強度、波長および期間の光で少なくとも光導波路の一つを照射するステップを有することを特徴とする請求項 33 に記載されたフィルタデバイスを位相調整する方法。

【請求項 38】 導波路中に屈折率の変化を与える強度、波長および期間の光で第一および第二光導波路の一方を照射するステップを有することを特徴とする請求項 33 に記載されたフィルタデバイスを位相調整する方法。

【請求項 39】 導波路は先ず照射される強度、波長および期間の光の中で不変的な屈折率の変化を果たす材料でもってドーピングされることを特徴とする請求項 38 記載の調整方法。

【請求項 40】 要求される調整の量を果たすために第一および第二導波路の一方の長さに亘って屈折率の変化を提供するステップを有することを特徴とする請求項 33 に記載されたフィルタデバイスを調整する方法。

【請求項 41】 フィルタはインターリーパー／デインターリーパーフィルタであることを特徴とする請求項 33 記載のフィルタデバイス。

【請求項 42】 第一カプラーから二つの導波路内の光を結合する光カプラーへの光路長は、実質的に第二カプラーから二つの導波路内の光を結合する光カプラーへの光路長と同一であることを特徴とする請求項 41 記載のフィルタデバイス。

【請求項 43】 光を光共振器と第一および第二導波路との間に結合させるために、第一および第二ポートを持つ光共振器と、第一および第二導波路内を伝搬する光ビ

ームを結合する手段とを有し、前記手段は、一つ以上の光ビーム出力を提供するためにそれらが干渉するように第一および第二導波路と光学的に結合されていることを特徴とするモノリシック集積フィルタデバイス。

【請求項44】 光共振器はリング共振器であることを特徴とする請求項27記載のモノリシック集積フィルタデバイス。

【請求項45】 デバイスはインターリーバー/デインターリーバー回路であることを特徴とする請求項27記載のモノリシック集積フィルタデバイス。

【請求項46】 カプラーおよび導波路は平面モノリシックスラブ状基板内に配置されていることを特徴とする請求項45記載のモノリシック集積フィルタデバイス。

【請求項47】 一つの入力ポートと少なくとも二つの出力ポートを持つ第一カプラーと、二つの入力ポートと二つの出力ポートを持つ第二カプラーと、一方の端部には反射率 E を持つ部分的反射表面を、他方の端部にはより高い反射率 E' を備えた光空洞とを有し、第一カプラーの少なくとも二つの出力ポートは第二カプラーの二つの入力ポートと光学的に結合されており、光空洞は第一カプラーの少なくとも二つの出力ポートの一つおよび第二カプラーの二つの入力ポートの一つのみに光学的に結合されていることを特徴とするインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項48】 二つのカプラーはMZ干渉計を形成することを特徴とする請求項47記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項49】 第一カプラーの二つの出力ポートの少なくとも一つは第二カプラーの二つの入力ポートの一つと前記二つのポート間に配置された導波路を経由して結合されることを特徴とする請求項47記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項50】 第一カプラーおよび第二カプラーは50:50カプラーであることを特徴とする請求項47記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項51】 回路は、直交偏光チャンネルをデインターリーブ動作モードで提供し、チャンネルの偏光されたストリームと直交偏光された近接の各チャンネルを持つチャンネルのストリームの一方をインターリーブ動作モードで提供する、偏光波長インターリーバーであることを特徴とする請求項47記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項52】 回路の偏光依存性の動作を平衡させるために、少なくともカプラーの一つのアームに、またはその中に鏡が設けられていることを特徴とする請求項47記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項53】 鏡に向かって視準された光を入射し、鏡から受けた光を焦点に集める視準器を有することを特徴とする請求項52記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項54】 第一カプラーの少なくとも二つの出力ポートの一つと、第二カプラーの二つの入力ポートの一つと結合された第三カプラーを有することを特徴とする請求項50記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項55】 第三カプラーは50/50カプラーであることを特徴とする請求項54記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項56】 二つの50/50カプラー間に二つの光分岐経路を持つマッハツェンダ干渉計を有し、二つの光分岐経路の一つは、前記一つの分岐経路を横切る光がエタロン内部で共振した後カプラーの一方から他方へ結合されるように、経路内にエタロンを含み、二つの分岐経路の別の一つを横切る光は二つのカプラーの一つの内部の他の分岐経路を横切る光と干渉することを特徴とするインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項57】 第一入力ポート IN_1 と少なくとも二つの出力ポート OUT_1 , OUT_2 を持つ結合手段と、他の二つの入力ポート IN_2 , IN_3 および他の二つの出力ポート OUT_3 , OUT_4 を持ち、少なくとも二つの出力ポート OUT_1 , OUT_2 は二つの入力ポート IN_2 , IN_3 と光学的に結合されている結合手段と、一方の端部には反射率 E を持つ部分的反射表面を、他方の端部にはより高い反射率 E' の反射面を備えた光空洞とを有し、光空洞は少なくとも二つの出力ポート OUT_1 , OUT_2 の一つと、二つの入力ポート IN_2 , IN_3 の一つに光学的に結合されていることを特徴とするインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項58】 結合手段は長さ $3L_x/2$ を持つ少なくとも 4×4 MMIカプラーであることを特徴とする請求項57記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項59】 結合手段は二つのMMIカプラーを有することを特徴とする請求項57記載のインターリーバー/デインターリーバー回路。

【請求項60】 インターリーバー/デインターリーバーの偏光依存性を少なくし、および実質的に偏光に感応しないインターリーバー/デインターリーバーを提供するMMIカプラーの二つのアームに結合された鏡を有することを特徴とする請求項49記載のインターリーバー/デインターリーバー。

【請求項61】 二つのアームの一方からの光を受け、視準された光を鏡に与えるビーム視準器を有し、前記ビーム視準器は鏡からの反射光を受け、二つのアームの他方に焦点を結んだ光を提供することを特徴とする請求項60記載のインターリーバー/デインターリーバー。

【請求項62】 MMIカプラーの二つの主経路間に必要な経路長差を提供するために、ビーム視準器と鏡間に光透過性スペーサーを有することを特徴とする請求項61記載のインターリーバー/デインターリーバー。

【請求項63】 二つの主経路の各々は二つのアームを含み、各アームはポートの一方に直接結合されている、ことを特徴とする請求項62記載のインターリーバー／デインターリーバー。

【請求項64】 一つの入力／出力ポートおよび二つの出力／入力ポートを持つMZ干渉計と、MZ干渉計に光学的に結合されたGT共振器とを有し、GT共振器は追加の濾過を提供し、デインターリーブされたチャンネルの正弦波形を減少することを特徴とするインターリーバー／デインターリーバー。

【請求項65】 垂直偏光と水平偏光の一方のみを請求項21のデバイスに入射し、光のデインターリーブされたチャンネルを受けるステップを有することを特徴とする直交的に偏光されたデインターリーブされたチャンネルを提供する方法。

【請求項66】 第一平面に関して45°線形偏光を持つチャンネル化光のストリームを提供し、前記45°線形偏光は第一平面に垂直な第二平面上にあり、第一平面は請求項21に規定されたデバイスの二つの出力／入力ポートから伸長する線を含み、前記光を二つの入力／出力ポートの少なくとも一方に入射し、出力／入力ポートの少なくとも一方から光を受けるステップを有することを特徴とする直交的に偏光された近接チャンネルの光を提供する方法。

【請求項67】 二つの50/50カプラー間に二つの光導波路を持つマッハツェンダ干渉計を提供し、前記一つの導波路を横切る光がエタロン内部で共振した後カプラーの一方から他方へ結合され、二つの導波路の別の方を横切る光は二つのカプラーの一つの内部の他の導波路を横切る光と干渉するように、二つの導波路の一方と光学的に結合されたエタロンを提供し、前記導波路中に屈折率変化を果たすための強度、波長および期間の光で二つの導波路の少なくとも一方を照射することにより回路を位相調整するステップを有することを特徴とするインターリーバー／デインターリーバー回路を製造する方法。

【請求項68】 ビームを光の第一および第二サブビームに分割するビーム分割器と、光の第一サブビームを受けるように配置された第一GT共振器と、光の第二サブビームを受けるように配置された第二GT共振器と、第一および第二GT共振器からの光出力を結合するビーム結合器とを有することを特徴とするマルチプレクサ／デマルチプレクサ。

【請求項69】 GT共振器の少なくとも一つは、第一および第二GT共振器の少なくとも一つの二つの反射表面間の間隙を制御可能に変化するための、温度に感応するポリマーを有することを特徴とする請求項68記載のマルチプレクサ／デマルチプレクサ。

【請求項70】 第一および第二GT共振器の少なくとも一つの間隙を制御可能に変化するために、ポリマー周辺

の温度を制御する制御回路を有することを特徴とする請求項69記載のマルチプレクサ／デマルチプレクサ。

【請求項71】 制御回路はポリマーの温度を上昇するヒーターを含むことを特徴とする請求項70記載のマルチプレクサ／デマルチプレクサ。

【請求項72】 第一位置からそこに入射したビームを光の第一および第二サブビームに分割し、他の位置からそこに入射し、受けたビームを光の一本のビームに結合するビーム分割／結合器と、ビーム分割／結合器からの光の第一サブビームを受けるように配置された第一GT共振器と、ビーム分割／結合器からの光の第二サブビームを受けるように配置された第二GT共振器とを有し、GT共振器は光の第一および第二サブビームのそれぞれの受光に応じてフィードバック信号をビーム分割／結合器に提供することを特徴とするマルチプレクサ／デマルチプレクサ。

【請求項73】 GT共振器の少なくとも一つは、同調型ハイブリッド熱-光ファブリ・ペローフィルタを提供するために、温度によって経路長が変化する材料を有することを特徴とする請求項72記載のマルチプレクサ／デマルチプレクサ。

【請求項74】 第一位置からそこに入射した複数の光チャンネルを有する光ビームを、波長と偏光に依存しない仕方では光の第一および第二サブビームに分割し、光の第一サブビームを光の第一サブビームを受けるように配置された第一GT共振器に提供し、光の第二サブビームを光の第二サブビームを受けるように配置された第二GT共振器に提供し、第一GT共振器からの第一出力信号を受け、第二GT共振器からの第二出力信号を受け、ここで第一および第二出力信号はデインターリーブされた光チャンネルであることを特徴とする光信号をデインターリーブされた光チャンネルに多重分離化する方法。

【請求項75】 少なくともGT共振器の一つを熱-光的に調整するステップを有することを特徴とする請求項74記載の方法。

【請求項76】 自由スペクトル域を変えるために少なくともGT共振器の一つを同調するステップを有することを特徴とする請求項77〔通告：次の請求項を参照している〕に記載の方法。

【請求項77】 非対称チャンネルを提供するために同調ステップは少なくともエタロンの一つの応答を変化するステップを含むことを特徴とする請求項76記載の方法。

【請求項78】 対称チャンネルを提供するために同調ステップは少なくともエタロンの一つの応答を変化するステップを含むことを特徴とする請求項77記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、一般的に多ポート

光空洞に関し、より詳細には少なくとも三個のポートを持つ空洞、およびその使用に関する。

【0002】

【発明の技術背景】光導波路、すなわち光ファイバのような光路を通して高速度でチャンネル化された情報を運ぶ手段としての光信号を使用することは、伝搬損失が低く、光システムは電磁干渉(EMI)を受けず、そしてより大きいチャンネル容量を持つので、マイクロ波リンク、同軸ケーブル、および撚銅線を使用する他の方式よりも好ましい。高速光システムは、数メガビット/秒から数十ギガビット/秒の信号速度を持つ。

【0003】光通信システムは、通信ネットワークの殆ど何処にもある。ここでの「光通信システム」の表現は、総ての光路を通して二点間の情報を伝える総ての波長の光信号を使用する総てのシステムを指す。光通信システムは例えば、ここに参考文献として組み入れたGower, Ed. 光通信システム(Prentice Hall, ニューヨーク)1993年に、およびP. E. Green, Jrによる「ファイバ光ネットワーク」(Prentice Hall, ニュージャージー)に開示されている。

【0004】通信容量は、増大し続ける光ファイバの情報量を伝達するために更に増加するので、データ伝達速度は増大し、利用可能な帯域は不足供給源となってきた。

【0005】高速データ信号は、遠隔地へのデータ伝送用伝送媒体を共有する色々なデータストリームの集合(または多重化)によって形成される複数の信号である。波長分割多重化(WDM)は、利用可能な供給源をより効果的に使用する手段として光通信システムに一般的に使用される。WDMにおいて、各高速データチャンネルは、その情報を一本の光導波路に予め割り当てられた波長で伝送する。受信機端では、異なる波長のチャンネルは一般に狭帯域フィルタによって分離され、次いで続く処理にて検出され、または使用される。

【0006】実際、WDMシステムにおいて一本の光導波路によって運ばれるチャンネルの数は、漏話、光増幅器の狭動作帯域および/または光ファイバの非直線性によって制限される。その上、このようなシステムは、WDMシステムのコストを増加させ、複雑化を増す、正確な帯域選択、適切な同調型レーザまたはフィルタ、およびスペクトル純度を必要とする。本発明は、従来の光フィルタによっては適切に濾過されない近接配置されたチャンネルを濾過あるいは分離する方法とそのシステムに関する。

【0007】現在、高速光伝送システムに対して国際的に同意されたチャンネル間隔は、例えば、近接チャンネル間の1.6nmに等価な200GHzチャンネル間隔を超える、0.8nmに等価な100GHzである。勿論、近接チャンネル間の波長分離が減少するにつれて、漏話のない超狭帯域濾過の可能な、より正確な多重分離化回

路への要求が増加する。0.4nm以下に離隔されたチャンネルを漏話なしに分離するために従来の二色性フィルタを使用することは、このようなフィルタは製造が不可能ではないとしても困難であるので、実際的ではない。

【0008】1998年に米国光学会で発行されたBenjamin B. DingleおよびMasayuki Izutsuによる、波長分割多重化ネットワークシステム応用のためのMichelson-Gires-Tournois干渉計を備えた多機能光フィルタと表題された論文において、これ以降GTデバイスと呼ぶデバイスが、本発明によって提供される機能性の幾つかを提供している。

【0009】例えば、図1(A)に例示されたGTデバイスは、狭帯域波長デマルチプレクサとして働く。このデバイスは、反射されたEフィールドを、平面鏡16によって反射されたEフィールドによって干渉することに依存している。使用されるエタロン10は、99.9%反射率の後方反射体12rおよび約10%の反射率を持つ前面反射体12fを持ち、従って、前面反射体12fからのみの出力信号が利用される。ビーム分割プリズム(BSP)18が、入射光を受け、入射光をエタロン10に向けるために配置されている。BSP18は更に、エタロンから戻る光を受け、その光の一部を平面鏡16に、残りの部分を出力ポートに与える。

【0010】この既知のGTデバイスはその意図する機能を果たすように思えるが、それはある限界をもつ。0および π ラジアン、の伝達と反射Eフィールド間の位相差を持つ本発明のデバイスとは対照的に、図1(b)のグラフに見られるようなGTは、0および π 間の位相にある変化を持つ。更に、GTデバイスでは、本発明のデバイスによって提供されるものに似た出力応答を生み出すために、干渉計において限定された光路差が必要である。

【0011】一般的に、50GHzのフリースペクトル域(FSR)に対して、この光路差は、数ミリメートルであろうし、対照的に本発明では、光位相差の必要性は僅かな約 $\lambda/4$ であり、このことは温度に対してより安定した、温度鈍感システムに帰着する。GTデバイスの別の一つの制限は、エタロンと干渉計の両方の安定化の明白な必要性である。GTデバイスの別の欠点は、信号損失を付加して出力信号を引き出すための光サーキュレータの必要性と、デバイスの増大するコスト、および重大な偏光依存損失を持つと知られているBSPの必要性である。

【0012】図1(a)は、光路差をもつGTと鏡から反射された二つのEフィールド間の位相差の線形プロットでのグラフを示す。更に、グラフはGTからの反射光の位相変化の線形プロットを示す。反射プロフィールもまた、対数プロットで示され、直線傾斜の点線は限定された光路差を持つGTの線形プロットである。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、近接

離隔されたチャンネルを持つ光信号を少なくとも二つの光信号に分離する方法および回路を提供し、ここで近接チャンネル間のチャンネル間隔は、少なくとも二つの信号のそれぞれにおいて大きく、それによって少なくとも二つの信号のそれぞれによって運ばれるチャンネルを多重分離化するために、より精度の少ないフィルタを要求することである。

【0014】本発明は、先行技術のGTデバイス、および既知の多重化および多重分離化デバイスの多くの制限を克服するものと信じられる。

【0015】光チャンネルをインターリーブまたはデインターリーブする比較的廉価な光回路を提供することが本発明の目的である。

【0016】反対側に配置された二つのポートからの出力信号が希望する出力応答を生み出すために、制御可能に干渉計を構成するように組み合わせられる、エタロン系デバイスを提供することが本発明の目的である。

【0017】波長干渉計は、マッハツェンダ干渉計(MZI)を使用して作られている。しかしながら、MZIのスペクトル応答は正弦波であり、従って希望する平頂特性通過帯域を持たない。それ故、その低漏話用スペクトル・ウィンドウは小さい。

【0018】Oda等による表題「光FDM透過システム用リング共振器を持つ広帯域導波路周期的マルチ/デマルチプレクサ」、JLT、6巻6号1016-1022頁、1988年6月の論文は、MZIのスペクトル応答を開示しており、および適切な段階的応答は、リング共振器のような全波フィルタを図1(A)に示すようなMZIの一つのアームに加えることにより得られる。しかしながら、100GHzまたは50GHzの自由スペクトル域(FSR)を持つシステムにおいて低損失リング共振器を実現することは、一般的に困難である。

【0019】本発明は、これまで記述した大きな光GTデバイスに関連する問題を回避し、およびリング共振器を必要とするデバイスを不必要にする。

【0020】その幾つかはMZ干渉計に準拠した波長インターリーバー用のプレーナー型導波路の実現である本発明の具体化物を提供することが、本発明の目的である。

【0021】MZの短いアームに配置された適切な共振器に組み合わせられた非対称MZを使用するインターリーバーを提供することが、本発明の別の目的である。

【0022】有利なことに、プレーナー型導波路MZ干渉計の使用により、MZの二つのアーム間の必要な長さの差の設定が、非常に正確にできる。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、第一および第二部分的透過型反射体を持つ共振光空洞と、光結合手段とを有し、前記共振光空洞は第一部分的透過型反射体に配置された第一ポートと第二部分的透過型反射体に配置された第二ポートを持ち、光ビーム結合手段は共

振光空洞の第一および第二ポートに光学的に結合され、前記光ビーム結合手段は1つ以上の光出力を供給するために第一および第二ポートを出る光を干渉するように結合する構成としたフィルタデバイスが提供される。

【0024】本発明によれば、第一および第二導波路を持つ光リング共振器と、前記導波路間の二つの導波路内の光を結合させる光カプラーとを有し、第一および第二導波路の一方は濾過される入力信号を受ける端部を持ち、第一および第二導波路は、光を、一個以上の導波路から共振器に、および/又は共振器から一個以上の導波路に結合するために、それぞれ第一および第二位置において光共振器と光学的に結合され、前記光カプラーは出力端部が前記入力光の濾過を提供するように導波路に沿った位置にあるフィルタデバイスが提供される。

【0025】本発明によれば更に、そこに結合された第一および第二導波路を持つ光リング共振器を有し、第一および第二導波路の一方は濾過される入力信号を受ける端部を持ち、第一および第二導波路は、光を、一個以上の導波路から共振器に、および/または共振器から一個以上の導波路に結合するために、それぞれ第一および第二位置において光共振器と光学的に結合し、前記導波路間で二つの導波路内の光を結合させる50:50光カプラーを有し、光カプラーは導波路の出力端部が前記入力光の濾過を提供するように導波路に沿った位置にあるフィルタデバイスが提供される。

【0026】本発明の別の面によれば、一つの入力ポートと少なくとも二つの出力ポートを持つ第一カプラーと、二つの入力ポートと二つの出力ポートを持つ第二カプラーと、一方の端部には反射率を持つ部分的反射表面を、他方の端部にはより高い反射率を備えた光空洞とを有し、第一カプラーの少なくとも二つの出力ポートは第二カプラーの二つの入力ポートと光学的に結合されており、光空洞は第一カプラーの少なくとも二つの出力ポートの一つおよび第二カプラーの二つの入力ポートの一つのみに光学的に結合されている。

【0027】本発明によればまた更に、二つの50/50カプラー間に二つの光分岐経路を持つマッハツェンダ干渉計を有し、二つの光分岐経路の一つは、前記一つに分岐経路を横切る光がエタロン内部で共振した後カプラーの一方から他方へ結合されるように、経路内にエタロンを含み、二つの分岐経路の別の一つを横切る光は二つのカプラーの一つの内部の他の分岐経路を横切る光と干渉するインターリーバー/デインターリーバー回路が提供される。

【0028】本発明の別の面によれば、一つの入力/出力ポートおよび二つの出力/入力ポートを持つMZ干渉計と、MZ干渉計に光学的に結合されたGT共振器とを有し、GT共振器は追加の濾過を提供し、デインターリーブされたチャンネルの正弦波形を減少するインターリーバー/デインターリーバーが提供される。

【0029】本発明によれば、実質的に異なる帯域をもつ光信号の二つのストリームの多重化とデインターリーパーを行うための光共振器を持つ非対称型インターリーパー／デインターリーパーが提供される。

【0030】

【発明の実施の形態】一般的に、エタロンフィルタのスペクトル特性は鏡または反射表面の反射率とギャップ間隔によって決定される。ファブリ・ペロー原理により広帯域光ビームは濾過され、それにより周期性スペクトル通過帯域のみが実質的にフィルタを抜けて伝達される。逆に、もし鏡または反射表面の反射率が適当に選択されれば、dナノメーターだけシフトされた周期性スペクトル通過帯域は、入力鏡表面から実質的に後方に反射される。JDS Fitel Inc.に譲渡されたIpの名の米国特許No. 5,283,845に開示されたもののような調整可能ファブリ・ペローデバイスにおいて、スペクトル通過帯域の中心波長の調整は一般的に実効空洞長（間隔）を変更することにより達成される。

【0031】図2（A）を参照して、チャンネル化された光信号、すなわち多重化された近接分離チャンネルにより構成される信号を、それぞれ複数の多重化された、より近接しない分離されたチャンネルを有する複数のより低密度のチャンネル化信号に多重分離化する光回路が示されている。回路の端部に入射した複数のチャンネルに多重化機能を行う第一方向に回路を操作する時、それはインターリーパー回路であり、複数の多重分離化チャンネルを提供するために反対端部でそこに入射した複合信号上に多重分離化機能を行う反対方向に回路を操作する時、それはデインターリーパー回路として働く。

【0032】しかしながら、用語インターリーパー回路は、これ以降インターリーパー／デインターリーパー回路を表すものとして使用される。このようなインターリーパー回路の一つがCohenの名による米国特許No. 5,680,490に楕円分割フィルタとして開示されている。

【0033】図2（A）で、光インターリーパー回路は、第一部分的反射端面110aおよび第二部分的反射端面110bを持つファブリ・ペローエタロンフィルタ110（図3により詳細に示す）の形式の3ポート光空洞を含む。ファブリ・ペローエタロンは、端面110bに入力ポート101を、ファブリ・ペローエタロンフィルタ反射端面110に第二ポート102を、および出力ポートとして働く透過端面110aに結合された第三ポート103を持つ。ファブリ・ペローエタロンフィルタ110は、互いに向き合い、空洞を形成するある固定の間隔で分離された二つの部分的反射鏡、または表面を持つ。エタロンフィルタ110に対して、透過共振 θ は π の倍数であり、往復位相は 2π の倍数である。

【0034】そこを通る光信号を制御可能に遅延させる移相器は、ファブリ・ペローエタロン110の端部で第三ポート103に光学的に結合される。50/50分割

器119は、移相器117の出力端とファブリ・ペローエタロン110の第二ポート間に配置されて光学的に結合される。模式的に、例えば信号をエタロンから移相器117および分割器119に導く光ファイバを持つように導波路が示されているが、鏡または反射体を使用する余り好ましくない自由空間での履行は当該技術に習熟した人々の能力の範囲内で可である。勿論、GRINレンズのような結合レンズ（図示せず）は、特別な構成要素から光ファイバへまたは光ファイバからそこへ光を結合するのに好ましい。

【0035】本発明者は最近、エタロン、例えばエタロン110から反射されおよび伝達されたEフィールド位相間の位相差は、ある状況では一定に留まることを認識した。更に、入力光がエタロンの入力ポート101に入射された時、端面103を出る帰着信号と端面102を出る帰着信号との間の位相差は0か π ラディアンであり、そして総てのスペクトル透過共振毎に変化する。このことが図2（a）に示され、ここで位相は波長に対してプロットされている。伝達されおよび反射されたEフィールド間の位相差の固定は、エタロン内の多重干渉効果によって生じる。

【0036】本発明は、この特徴を、例えば平坦スペクトル通過帯域フィルタが実現できるように、二つの帰着信号を干渉させることにより利用する。ファブリ・ペローエタロン110の相対する面を出る二つの信号間の位相関係を調整し、次いでこれらの信号を干渉させることにより、希望する色々な出力応答が実現できる。勿論、随意的に追加の制御が二つの信号の一方または両方を減衰させ、または増幅させるために追加できる。エタロン110のポート2と50/50分割器119間、およびエタロン110のポート3と50/50分割器間の光ファイバ間の経路長の差はゼロ以外であるか、またはエタロンの自由スペクトル域のある正確な倍数であり得るので、移相器117の備えは経路長の差による望ましくないまたは希望する位相差に対する調整手段を確保する。

【0037】もし、干渉計の二つのアーム間、すなわちエタロン110と分割器119間の二つの経路間で固有の位相差が作り出されなかった場合、次の出力が得られる。

$$\text{ポート3からの出力: } E_R e^{j\theta_R} + E_T e^{j(\theta_T - \pi/2)}$$

$$\text{ポート2からの出力: } E_T e^{j\theta_T} + E_R e^{j(\theta_R - \pi/2)}$$

【0038】ここで、 θ_R および θ_T はエタロンによって作り出される反射および伝達される位相である。干渉計出力は、一般式によって与えられる。

$$I_{R\&T} = 1/2 (E_R^2 + E_T^2 + 2 E_R E_T \cos(\Delta\theta))$$

【0039】ここで、 $\Delta\theta$ は二つのEフィールド間の位相差を表す。もし、 $\theta_R = \theta_T$ の時、両出力に対する位

相差は $\pi/2$ となる。またもし $\theta R - \theta T = \pi$ の時、両出力に対する位相差は再び $\pi/2$ となる。このように、希望する干渉計の動作は存在しない。

【0040】しかしながら、 $\pi/2$ 位相差が干渉計アームに設けられると、その時は二つの出力は下記で与えられる。

ポート3からの出力： $E_R e^{j(\theta R)} + E_T e^{j(\theta T)}$

ポート2からの出力： $E_T e^{j(\theta T + \pi/2)} + E_R e^{j(\theta R - \pi/2)}$

【0041】上記から分かるように、干渉計からの出力は π 移相を持ち、それは二つの信号間に有用な、または希望する干渉計動作が存在し得る、ということを示す。ポート3での出力およびポート2での出力に対する位相差は、それぞれ $\theta R - \theta T$ および $\theta R - \theta T - \pi$ である。もし $\theta R = \theta T$ の時、ポート3および2における出力に対する位相差は、それぞれ0および π であろう。 $\theta R - \theta T = \pi$ に対しては、ポート3および2における出力に対する位相差は、それぞれ π および0であろう。このように、チャンネル選択が実現できる。

【0042】分割器の一つの出力における奇数チャンネルと分割器の第二出力における偶数チャンネルを分離することにより、回路はデインターリーブフィルタとして動作できる。

【0043】分割器に提供される回路の二つのアームの信号間の位相関係を変更することにより、およびエタロンの端面の反射率を例えば60%と1%の反射率を持つように変更することにより、インターリーブ機能は消滅し、回路は線形化出力を提供するように動作する。このような線形化出力信号は、線形傾斜信号が望まれるところの、波長固定の適用に有用である。更に、もし二つの出力信号が互いに差し引かれる場合、信号の無損失が引き起こされるので効果は更に高められる。

【0044】図4(a)から4(c)において、無誘導視準光がデバイス内を伝搬するところの自由空間デバイスを実施する本発明による光デバイスが示されている。示されたインターリーパー/デインターリーパーは、その間に配置されたスペーサーを持つ二つのガラス干渉計端部プレート42aおよび42b(以下、端部プレート42という)を持つ。

【0045】二つの干渉計端部プレート42間のスペーサー領域は、点線で示された所を除いて50/50コーティング(図示)を持つ。この点線は、プレート42間の領域を表す。そこにおいてエタロンはエタロンの自由スペクトル域を規定する $\lambda/2$ の予め設定された寸法の空気間隙をその間に持つ、少なくとも部分的に反射する二つの表面から形成される(詳細には示さず)。

【0046】図4(a)および4(b)のグレーデッドインデックス(GRIN)レンズ40a~40cは、端部プレート42を通しその間に視準した光を与えるように働き、出力ポートのレンズに焦点を結ぶように働く。鏡4

1aおよび41bは、ビームを特定のポートに向けるためにプレート42の端部に配置されている。例えばレンズ40aの入力ポートに入射した光は、プレート間のエタロンに向けられる。

【0047】光の約50%はエタロンの前端部を通して伝達され、鏡41aに投射し、次いでレンズ41bに向けられる経路に従う。残りの光はエタロンの後方を通して伝達され、鏡41bに突き当たり、そこで次いでレンズ40cのポートに向けられる。示されるように、中心波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ を持つチャンネルは、レンズ40aのポートに入射した時、チャンネルはレンズ40bおよび40cのポートで、それぞれチャンネルグループ $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \dots$ と $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots$ にデインターリーブされ、それによって二つのデインターリーブされたグループを提供する。

【0048】図4(b)は、図4(a)の同じ回路がデインターリーブされたチャンネルをインターリーブするために、如何に後方向きで使用され得るかを図示する。更に、図4(c)は、GRINレンズ40dの特別の入力ポートが追加され、位相を適当に調整および制御することにより、この回路が入力チャンネルを両出力ポートへ切り換えるために使用できることを図示する。

【0049】図5を参照して、無誘導視準光がデバイス内を伝搬する自由空間デバイスを具体化する本発明による光デバイスが示されている。そこに示されたインターリーパー/デインターリーパーは、その間に配置されたスペーサーを持つ二つのガラス干渉計端部プレート42を持つ。端部プレートおよびスペーサーは、光学的接触によって結合される。これらの接触面は、組み立てられた時それらの表面を10円弧秒以内に平行に保つために、同時におよび同じ向きに研磨される。干渉計結合器の貫通孔の軸と各干渉計端部プレートのコーティングBの軸は0.1mm以内で同心である。

【0050】干渉計結合器は、50/50コーティングによって都合よく統合されている。エタロンにはこのコーティングがない。図4に示された視準/焦点GRINレンズは、図5では図の明瞭性のために示されていない。二つの干渉計端部プレート42間の相対温度差を決定する温度センサー52が、プレート52の端部に示されている。端部プレート42の周囲に好都合に覆われたヒーター42aおよび42bが、エタロンの相対する端部を通過する伝達されたおよび反射された光信号間の位相関係を制御するために、温度センサー52と共に使用される。

【0051】本発明の別の実施形態例が図6に示されており、ここではこれまでに記述された一個のエタロンと同じ仕方で使用されている奇数のマルチ空洞エタロンが示されている。このように、光は本発明の教えるところによりマルチエタロン構造の最も外側の相対する側のポートから捕らえられ、結合される。マルチ空洞、すなわ

ち三個のエタロンを使用することにより、図 6 (a) に示されたプロフィールが得られる。そのプロフィールにおいて、よりけわしく鋭い出力応答に帰着するグラフのある部分 62 にいて位相の増加がある。

【0052】更に、より多いエタロン表面、例えば三個の空洞エタロンの事例において少なくとも四個の反射表面を備えることにより、より多くの制御が各表面の反射率を変更できることによって得られる。図 6 (b) は、本発明による一個の空洞エタロンに対しての出力スペクトルの一部を表す点線と、三個の空洞エタロンデバイス 10 に対しての出力スペクトルの同じ部分を表す実線の二つのプロットを図示する。図 6 (c) は、結合器に結合されたマルチ空洞エタロンを持つ本発明による回路を図示する。

【0053】本発明の先の実施形態例において、移相器は効果的な $\pi/2$ の位相差を確保し、その結果 50/50 分割器を通して生じた移相が補償される。これにより次いで、完全な建設的および有害的干渉が干渉計出力に発生する。しかしながら、もし異なる位相差が使用されると、エタロンの二つの面に対する反射率のある組み合わせによって、図 7 のグラフに示されるような波長に伴う線形化強度変化が達成される。この例において、反射係数は 0.01 および 0.6 であり、位相差は 0 である。

【0054】図 8 は、正しい位相差および反射率を使用することによって平坦フィルタ通過帯域が設けられる別の実施形態例を図示する。

【0055】図 9 について、図 2 (A) に示された実施形態例と機能的に同様な本発明による別の実施形態例が提供されている。プレーナ型導波路技術を用いて手ごろに作られるインターリーパー回路 900 が示されている。ここで導波路は例えばガラス中に配置される。導波路領域はドーブされ、イオン注入され、または移植され得る。例えばコア光誘導領域は光透過ポリマーで良い。

【0056】第一端部に入力ポート 1 と出力ポート 2 を持つ第一 MMI 50/50 カプラー 910 は、その間に配置された導波路 912 および 914 によって第二の同じ MMI 50/50 カプラー 920 に光学的に結合される。二つの薄い部分的に反射するプレート E および E' が、導波路 912 および 914 内にカットされた溝に配置される。

【0057】その間に配置されたプレート E、導波路 912、およびプレート E' は、第一ファブリ・ペローエタロンを形成する。同様に、その間に配置されたプレート E、導波路 914、およびプレート E' は、第二ファブリ・ペローエタロンを形成する。第一 MMI カプラー 910 の出力ポート 2 と第二 MMI カプラー 920 の出力ポート 2 は、それぞれ信号 a_{11} および a_{12} を運ぶ出力ポート 3 と 4 を持つ第三 MMI 50/50 カプラー 930 の入力ポート 1 および 2 に結合される。

【0058】インターリーパー/デインターリーパー回路 900 の動作を記述する前に、図 10 のものが図 9 に示されたものと同様の四ポート 3 dB カプラーの機能性を記述する手段として使用される。カプラー 940 のポート 1 に与えられた入力信号 a_1 はポート 2 および 3 間に等しく分けられる。信号が鏡により後方に反射された後、示されるように、それらはポート 1 ではなく、カプラーのポート 4 に結合される。このようにして、反射された信号は、光サーキュレータの必要性なしに入力信号から分離される。勿論、図 9 に示した MMI カプラーは 3 dB カプラーと置き換えることができる。

【0059】図 9 の回路の動作は、図 2 に示されたデインターリーパー/インターリーパーの動作と同様である。図 9 において、入力信号 a_{11} はポート 1 に入射され、カプラー 910 のポート 3 および 4 の導波路 912 および 914 において二つのデインターリーブされる信号にそれぞれ等しく分けられる。カプラー 910 および 920 間のエタロンを通して伝達しおよびそれから反射した透過信号 a_1 および反射信号 a_1 は、MMI カプラー 930 のポート 1 および 2 に入力され、そして二つのデインターリーブされた出力信号として提供される。

【0060】勿論、各デインターリーブされた出力ストリームは、チャンネル化された信号をさらにデインターリーブするために別の同様なデインターリーブ回路にも提供される。例えば図 9 を参照して記述されたもののような第一段において、チャンネル 1, 3, 5, 7, ... は a_{11} における出力であり、チャンネル 2, 4, 6, 8, ... は a_{12} における出力である。チャンネル 1, 3, 5, 7, 9 は、他の二つのデータストリーム 1, 5, 9 および 3, 7, 11 が更に多重分離化されるように、エタロンがより大きな FSR を持つ、回路 900 と同様な回路に提供される。

【0061】図 9 の実施形態例に類似の別の実施形態例が図 11 に示され、ここでは各導波路 912 および 914 に一つの領域を設けるために、二つの MMI カプラー 910 および 920 間にエタロン 111 は形成され、その屈折率はこの領域に結合される導波路およびその近傍の導波路の屈折率と異なっている。エタロン領域は、適切な屈折率を持つポリマーで良い。勿論、エタロンの長さとおよびエタロン領域とその近接領域間の屈折率の差は、異なる屈折率領域間のインターフェースで希望する反射率を提供するために十分でなければならない。

【0062】図 12 は、機能的にファブリ・ペローエタロンと同様な構成の実施形態例を示す。図 12 に示された回路は、リング共振器を利用する。図に示されるように、ファブリ・ペロー共振器と同等の転換機能が、導波路リング共振器と二つの方向性カプラーを組み合わせることにより得られる。これは、一つの入力ポートと二つの出力ポートを持つ 3 ポートデバイスである。このデバイスの出力ポートにおける信号 a_1 および a_1 はファブ

リ・ペロー共振器の反射および透過信号と同等である。方向性カプラーの結合係数は空洞のフィネスを制御する。周期的スペクトル応答は、下記の等式によりリングの全長で決定される。 $FSR=c/\Delta L$

【0063】ここで、 c は光の速度であり、および ΔL はリングを通じた光学的長さである。

【0064】本発明による一つの実施形態例が、図13に示されている。リング共振器の二つの出力が二つのインターリーブされた信号 a_{u1} 、および a_{u2} を得るために3dBカプラーにルーティングを定められる。インターリーブ機能は、もし光学的長さACが光学的長さBCに等しければ実現される。ここで光学的長さは、物理的長さ×屈折率である。勿論物理的長さは、許容される曲げの量によって若干制限される。好ましい実施形態例では、インターリーブに対して、カプラーは50/50カプラーである。Cにおけるカプラーは、方向性カプラーまたはMMIカプラーである。好ましい実施形態例では、AおよびBにおけるカプラーは、光の82.9%がリングに結合され、光の17.1%がリング近傍の導波路を通過するような17.1%/82.9%カプラーである。

【0065】図14および15は、リング共振器の二つの出力 a_1 、および a_2 のスペクトル振幅および位相応答を示す。図16は、リング共振器の二つの出力 a_1 、および a_2 間の位相差を示す。位相差はリング共振器のFSRに等価な連続する波長チャンネルに亘る $-\pi/2$ および $+\pi/2$ 間で交互に代わる。最終的に、図17は、導波路カプラー干渉計の出力における二つのデインターリーブされた信号 a_{u1} 、および a_{u2} のスペクトル透過率を示す。

【0066】勿論、本発明の意図と範囲から逸脱せずに他の多くの実施形態例が考えられる。例えばエタロンまたはマルチ空洞エタロンは、同調型エタロンでも良い。

【0067】更に、本発明によって記述されたモノリシック導波路デバイス、より詳細には図9、11および13に示された実施形態例は、デバイスを永続して同調することによりそれらを比較的温度的に安定させるような方法で製造できる。これらの実施形態例の何れかにおいて、アームの一つ、 a_1 または a_2 が特定の部分の屈折率を変更するために例えばゲルマニウムでドーピングされ、ドーピングされたアームの特定の部分はUV光に露光される。あるいは、一つのアームを適当な強度および期間の光に露光することは、ある場合にはデバイスを永続的に調整するために必要な屈折率変化を生み出す。これは二つのアーム a_1 、および a_2 間の位相関係を永続的に調節し、それによって温度的に非常に裕度のあるデバイスを生み出す、図18に示された便利な方法である。

【0068】本発明の別の実施形態例が図19に示されており、ここでインターリーパー/デインターリーパーが示されている。この事例では、位置AおよびBが90°離れて示されている。位置A、BおよびC間の関係は以下

の通りである。すなわち、 $AB+BC-AC=L$ 、 $L_{ring}/2$ 、ここで L_{ring} はリング共振器の長さである。図20(a)、20(b)および20(c)は、カプラーA、BおよびCの概略のパワー結合比を図示する。

【0069】図21の先行技術回路は、出力応答において正弦波である既知の非対称マッハツェンダ干渉計フィルタの使用に対して改良された応答を持つ。しかしながら、100GHzまたは50GHz FSRで低損失リング共振器を遂行することは困難である。図21のMZ干渉計の別の利点は、それがGTデバイスに組み合わせられる一般的な大きな容積の光Michelson干渉計に必要とされるサーキュレータの使用を不必要にすることである。

【0070】GT共振器に組み合わせられたMichelson干渉計を基礎とする導波路技術を使用して実行される本発明の一つの実施形態例が、図22に示されている。組み合わせにおけるアーム18aおよび18bの長さは、アーム18cから異なる長さである。4ポート3dBカプラー20bが二つの3dBカプラー20aおよび20cのポートを光学的に接続するアーム18aおよび18b間に配置されている。

【0071】3dBカプラー20bの端部にGT共振器があり、そのGT共振器は二つの導波路22aおよび22bの一つの端部に鏡24bを設けることにより、そして導波路22aおよび22bを横切る溝の内部に部分的反射プレート24aを配置することにより形成されるGT共振器がある。鏡は反射率 E' を持ち、そして部分的反射プレート24aは反射率 $E < E'$ を持つ。鏡24bは100%反射であることが好ましい。カプラー20aおよび20cは共に3dBカプラーである。

【0072】図23は、ポート2および3に鏡を持つ20bのようなMMI 3dBカプラーの機能性をより詳細に示している。鏡を備えた3dBカプラーの動作を理解した後には、Michelson GT共振デバイスにこれまで必要であった光サーキュレータは必要ではないことが明らかとなる。ポート1に入射した入力信号 a_1 は、ポート2および3間に等しく分けられる。信号 a_2 および a_3 が鏡によって後方に反射された時、それらはカプラーのポート1ではなく、ポート4に組み合わせられる。これは、3dBカプラーでの位相関係による。この仕方では、鏡から反射された信号は、光サーキュレータを使用せずに入力信号から分離される。

【0073】図22、24および25のMach-Zehnder Gires Tournois (MZGT)回路の動作も同様である。これらのデバイスは、偏光インターリーパーである。波長 λ_1 、 λ_2 、...、 λ_N の垂直または水平偏光の一つのみが、カプラー20aの入力ポート1に入射する。もし、垂直のみ、または水平のみの偏光がデバイスに入射すると、デバイスの出力で波長/チャンネルはデインターリーブされる。波長 λ_2 、 λ_4 、 λ_6 、...に対応する

10

20

30

40

50

チャンネルは、カプラー 20c の一つの出力ポートに向けられ、および波長 λ_1 、 λ_3 、 λ_5 ... に対応するチャンネルは、カプラー 20c の別の出力ポートに向けられる。

【0074】もし入力光が水平または垂直に偏光されていなければ、デバイスは波長デインターリーバーとして機能しないであろう。従ってこのデバイスは、波長偏光インターリーブに依存する透過方式において有用である。回路は偏光インターリーブを行うように示されているが、チャンネルをデインターリーブするために反対方向にも使用できる。もし、デバイスに入射した光が例えば 45° で偏光されていると、両出力アームは共に、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、... λ_N を持つ近接のチャンネルを提供し、ここでこれらの波長に対応する近接のチャンネルは直交偏光され、ここで出力は同じチャンネルの各ポートに逆の偏光を持つであろう。

【0075】これ以降により詳細に記述される図 26 は、デバイスが最早偏光に依存しないように、この動作を補償する。図 24 を参照して、共振器が異なる屈折率を持つ二つの材料を採用することにより形成される別の実施形態例が示されている。光は、フレネル反射により二つの材料の境界で部分的に反射される。屈折率間の差は希望する反射率を遂行するために比較的高くなければならない。屈折率 n_1 を持つ導波路 41a は、屈折率 42a を持つ導波路に直接結合される。導波路 41b および 42b は GT 共振器を形成するために平行に配置されている。

【0076】MZ 干渉計がマイクロ・オプティクス GT 共振器と組み合わせられているハイブリッドデバイスである本発明の別の実施形態例が、図 25 に示されている。MZ の短い方のアーム 18a は、グレーデッドインデックスレンズのようなビーム視準器 52 に組み合わせられる。共振空洞は、スペーサ 58 による反射率 R を持つ鏡 56 によって分離された反射率 R を持つ部分的反射スペーサ 54 で形成される。

【0077】図 26 は図 25 に類似の本発明による別の実施形態例を示すが、しかしながら、ビーム視準器 62 および鏡 66 は一対の上部アーム 68a および 68b に配置されている。図 26～28 の回路は、偏光非依存性波長インターリーバーとしてのデバイス機能が、上部アームに配置された鏡 66 およびビーム視準器 62 を持つことによって為される本発明の実施形態例を与える。

【0078】図 27 は、図 26 に示されたデバイスの折り畳み型である。追加スペーサ 74 は MZ の二つのアーム間の必要な長さの差を提供するために MZ の上部アームに配置される。

【0079】図 28 は、図 27 の実施形態例と類似の実施形態例を図示し、ここでは長さ $3L_x/2$ の 4×4 MM I カプラーが図 27 に示された二つの $50/50$ カプラーと置き代わっている。

【0080】図 29 は、第二 3 dB カプラーの後方の MZ 共振器干渉計の光波場のスペクトル位相を図示する。MZ の長い方のアーム内を伝搬する信号の位相は線形傾斜（点線）である。他の曲線は GT 共振器の位相応答を表す。

【0081】図 30 は、第二 3 dB カプラーの後方の MZ 共振器干渉計の二つの光波場間の位相差を示す。位相差は、共振器の FSR に等価な連続波長チャンネルに亘る 0 および $+\pi$ 間で交互に代わる。

【0082】図 31 (a) は、MZ 共振器干渉計の出力ポートにおける二つのデインターリーブされた信号 $a_{u,1}$ および $a_{u,2}$ のスペクトル透過を示す。図 31 (b) は、応答でのリップルを示す -1 から 0 dB 範囲の拡張したグラフを図示する。部分的反射プレート R_1 の反射率は 0.1 である。

【0083】図 32 (a) は、部分的反射プレートの反射率の異なる値に対する二つのデインターリーブされた信号 $a_{u,1}$ および $a_{u,2}$ のスペクトル透過を示す。図 31 (a) および 32 (a) から部分的反射プレートの反射率 R_1 を増加することにより、応答ロールオフ特性は急峻となり、チャンネル帯域幅と漏話ウィンドウの両方は増加し、一方サイドロープレベルもまた増加する。このことが表 1 により明白に示されている。良く設計されたカプラー干渉計インターリーバーに対する同様の値が、より理解し易い比較を行うために表 2 に示されている。MZ 共振器干渉計はより急峻なロールオフ特性を持ち、従って漏話に関してカプラー干渉計よりも良い性能を持つことは明白である。表 1 は部分的反射プレート R_1 の異なる反射率値による MZ 共振器干渉計用のチャンネル帯域幅および漏話ウィンドウを示し、全帯域幅値は、チャンネル間隔に対して正規化され、1 として取られた。

【0084】

【表 1】

R_1	-1dB BW	-15dBx-トークウィンドウ	-30dBx-トークウィンドウ
0.1	0.85	0.635	0.34
0.17	0.89	0.736	0.57

【0085】表 2 はカプラー干渉計用のチャンネル帯域幅と漏話ウィンドウを示す。

【0086】

【表 2】

$R_1 = R_2$	-1dB BW	-15dBx-トークウィンドウ	-30dBx-トークウィンドウ
0. 17	0. 8	0. 51	0. 22

【0087】本発明の色々な実施形態例において、GT共振器の自由スペクトル域 (FSR) は次式で与えられる。

$$FSR_{GT} = c / (2d)$$

【0088】ここでcは真空中の光速であり、dは共振器空洞の光学的長さである。上記インターリーバーのスペクトル応答の自由スペクトル域は次式で与えられる。

$$FSR_{INTERLEAVER} = c / (d)$$

【0089】更に、上記インターリーバーの設計は、MZ干渉計の二つのアーム間の光学的長さの差は厳密に共振器空洞の光学的長さdに等しくなければならない、というものを必要とする。

【0090】GT共振器は短い方のアームに置かれる。

【0091】上記インターリーバーは、原理的に総て対称的な奇数および偶数のチャンネルに帰着する。しかしながら、図33に示された実施形態例は、対称または非対称のいずれかのチャンネルを提供するように設計できる。ある事例では、非対称的にインターリーブされたチャンネルが希望される。

【0092】図33を参照して、二つのGT共振器と組み合わせられたMZ干渉計に基づくインターリーバーが示されている。二つのGT共振器の空洞の長さは、互いに若干異なっている。二つのアーム間の長さの差は、二つの空洞の二つの長さの差に略等しい。長い方の空洞は、短い方のアームに置かれる。インターリーバーのスペクトル応答の自由スペクトル域は、次式で与えられる。

$$FSR_{INTERLEAVER} = c / (d_1 + d_2)$$

【0093】ここでcは真空中の光速であり、 d_1 および d_2 は二つのGT共振器空洞の光学的長さである。 d_1 および d_2 の値の選択は、インターリーバーが対称または非対称であるかを決定する。MZの二つのアーム間の長さの差およびGT共振器の前面の反射率 R_1 は、 d_1 および d_2 の値の選択に依存する。 λ を波長、および p を一つの整数として、もし $d_2 - d_1 = (p + 1/4) \lambda$ の場合、インターリーバーは対称である。この時、反射率 $R_1 = 0.172$ であり、MZの二つのアーム間の長さの差は $(p + 1/4) \lambda$ に等しい。この関係は、もし入力カプラーが標準 2×2 カプラーであれば、正しい。もし入力カプラーが中央供給 1×2 MMIカプラー、またはY接合カプラーの場合、アーム間の長さの差は $p \lambda$ に等しい。最適のケースでは、 $p = 0$ である。インターリーバーは $d_2 - d_1$ の他の総ての値に対して非対称であろう。

【0094】図26のデバイスと比較した図33のデバイスの利点は、温度安定化をGT空洞にのみ要求するのに対して、図26のデバイスはMGTIデバイスと同様に空洞とアームの両方に温度安定化を要求することである。

【0095】図34は、第二3dBカプラーの後方のデ

バイスを通して進行する二つの光波場間の位相差を図示する。位相差は、0と π 間で交互に代わる。図35は、デバイスの出力における二つのデインターリーブされた信号のスペクトル伝達を示す。図34および35は、対称であるように設計されたインターリーバーに対応する。同様に、図36および37は、非対称であるように設計されたデバイスに対応する。

【0096】本発明の別の実施形態例が、図38(a)および38(b)に示されている。図33に示された実施形態例とは対照的に、この実施形態例は一個のGT共振器を要求するのみである。

【0097】ビーム視準器の入力の四つの導波路 (又は光ファイバ) の位置は、GTを通る二つの角度付けされた経路が設計に要求されるようなFSRのものに若干異なるように、適切に選択されなければならない。第一3dBカプラー、好ましくは50/50カプラーは、点線で示される部分的反射表面を有して構成され別の端部に鏡156を持つ、一個のGT共振器に直接結合された二つの出力導波路を持つ。そして、ビーム視準器152とスパーサー158が配置されている。

【0098】更に、本発明によって記述されるモノリシック導波路デバイスは、デバイスを永続的に調整することによってそれらを温度に対して比較的安定させるような方法で製造される。これらの実施形態例のいずれかにいて、アーム a_1 、または a_2 の一つは例えばゲルマニウムでドーブされ、ドーブされたアームの特定の部分の屈折率を変更するために次いでUV光に露光される。あるいは、一つのアームを適当な強度および期間の光に露光することは、ある場合にはデバイスを永続的に調整するために必要な屈折率変化を生み出す。これは、二つのアーム a_1 および a_2 間の位相関係を永続的に調節し、それによって温度的に非常に裕度のあるデバイスを生み出す、便利な方法である。

【0099】図39を参照して、本発明の別の実施形態例によるインターリーバー/デインターリーバー回路が示され、ここでそれぞれ異なる自由スペクトル域 (FSR) を持つ二つのGTエタロン222および224が波長非依存性の偏光不感応50/50のビーム分割立方体218に直接結合される。このデバイスのFSRは次式で与えられる。

$$FSR_{INTERLEAVER} = c / (d_1 + d_2)$$

【0100】ここでcは真空中の光速であり、 d_1 および d_2 は二つのGT共振器空洞の光学的長さである。 d_1 および d_2 の値の選択は、インターリーバーが対称または非対称であるかを決定する。干渉計の二つのアーム間の光学的長さの差とGT共振器222および224の前面の反射率 R_1 は、 d_1 および d_2 の値の選択に依存す

る。 λ を波長および p を一つの整数として、二つの空洞間の経路長の差が、 $d_2 - d_1 = (p/2 + 1/4)\lambda$ である場合、デバイスはインターリーブ/デインターリーブを提供し、そのことは対称の奇数および偶数チャンネルに帰着する。

【0101】従ってチャンネルは実質的に総て同一帯域幅である。二つのGTエタロン222および224の両前面部分的透過反射体226の反射率 R_1 は、0.18であるように選択され、立方体の二つのアーム間の光学的長さの差は、 q を整数として $l_1 - l_2 = (q/4 - 1/8)\lambda$ である。最適ケースの場合、 $p = 0$ 、および $q = 0$ である。

【0102】しかしながら、0.17から0.19の反射率は対称インターリーバーに対して適切であることが分かった。インターリーバーは $d_2 - d_1$ の他の総ての値に対して非対称である。一般規則として、非対称インターリーバーに対して長さの差 $(l_2 - l_1)$ は、もし $(d_2 - d_1) < \lambda/4$ であれば $d_2 - d_1$ よりも若干小さく、長さの差は、もし $(d_2 - d_1) > \lambda/4$ であれば $d_2 - d_1$ よりも若干大きいであろう。シミュレーションは30%までの反射率は非対称インターリーバーに対する R_1 の値として適切であることを示している。

【0103】図40は、図39と同様な本発明によるインターリーバー回路の別の実施形態例を示すが、しかしながらビーム分割立方体318の端面に垂直であるよりも、むしろ角度をもってグレーデッドインデックス (GRIN) レンズの形式のビーム視準器を経由して入射する入力ビームを持っている。このことは、一つの入力ポート333aおよび二つの分離出力ポート333bおよび333cを与えることにより光回路の複雑性を実質的に減少させる。

【0104】対照的に、図39に示された回路は、一つの入力/出力ポート223aおよび一つの出力ポート223bを持ち、入力/出力ポートの出力端部から外へ光を結合するためには、光サーキュレータまたは外部結合デバイスが必要であり、デバイスのコストと複雑さを増す。勿論、図40の回路がデインターリーバーの代わりにインターリーバーとして使用される時、二つの出力ポート333bおよび333cは入力ポートとして働き、入力ポート333aはチャンネルのインターリーブされたストリームの運搬出力ポートとして働く。

【0105】図39の回路はポート223aおよび223bに結合されるビーム視準/焦点レンズを持つように示されていないが、回路は各ポートに、ビーム分割立方体と光導波路間の結合用のこのようなレンズを必要とする。図39の回路において、光はこのようなレンズの光軸に沿って入射する。図40において、ビーム視準器330の外向き端面で等距離でかつ所定の大きさだけオフセットしたポートの位置は必要な角度を与える。

【0106】本発明の別の実施形態例が図41に示さ

れ、ここでビーム分割立方体は第一部分は屈折率 n_1 であり、第二部分は屈折率 n_2 である二つの部分から作られている。ここで、二つの半体の物理的長さは等しいが、しかしながら光路長は要求通りに若干異なっている。

【0107】図42および43は、ポリマー材料の別の特徴を図示する。温度変化に伴うそれらの経路長変化は極めて重要である。事実この特性は、ハイブリッド熱-光調整可のファブリ・ペロー同調型 (調整型) フィルタを製造するために、ガラスまたはシリカとの結合に使用される。

【0108】図44および45に、二つのファブリ・ペローエタロンが示され、ここで加熱によって膨張するゴムのようなポリマーが、二つの反射表面間の間隙を変更する手段として利用されている。デバイスの応答時間が増加するように、シリコンがヒートシンクとして使用されている。熱が最早加えられない時、シリコンは、それが接着されているケースにこの熱エネルギーを迅速に伝導する手段を提供する。換言すれば、ヒートシンクの備えは、ポリマーを周囲温度に持ってくることを助ける。

【0109】ゴムのようなポリマーフィルムの熱的膨張は、フィルムが非膨張基板に結合されているので平面内で膨張できないという事実によって、(3のファクターで)高められる。ポリマーの高ポアソンモジュール、特にゴムのようなポリマーは、体積膨張を起こすように平面外への膨張を高める。

【0110】上記のゴムのようなポリマーフィルムの特性を利用して、インターリーバー/デインターリーバーは、出力応答において対称であったデバイスから非対称出力信号を持つデバイスを与えるように調整でき、および逆もまた同様である。中心波長はFSRを変更することにより調整できる。これらの二つは関係し、一方は他方を変更することなしに変えられない。

【0111】このように、限定された規模で、対称または非対称チャンネルを達成するように調整することは、両GTエタロン上の間隙の厚さを変化することにより達成できる。もし、中心波長が既に正しい位置にあるならば間隙のサイズは中心波長を固定に保つように変化されなければならない。しかしながら、より大きい規模の対称性または非対称性に対する調整は、 $(l_1 - l_2)$ の変化と反射率 R_1 、および二つの間隙の変化を必要とする。

【0112】図47について、本発明の別の実施形態例が示されている。反射50/50コーティング143を持つ溶融シリカの二つのブロック141aおよび141bが配置され、二つのブロックの側部に配置された二つのGTエタロン145aおよび145bに入力ビームを向けるために利用される二つのビーム分割器/組み合わせ器を形成する。スペーサーブロック149は各エタロン、入力レンズ、出力レンズ1および出力2レンズを分離する。

【0113】エタロン145aおよび145bは、低熱膨張係数を持つzerodurのような材料で作られたスペーサー要素より成る。各エタロンはまた反射率 $R_2 = 100\%$ を持つ完全に反射する端面と反射率 $R_1 = 18.5\%$ を持つ反対側表面を持つ。エタロン145aは d_2 のスペーサー145aによって規定される間隙を持ち、エタロン145bは d_1 のスペーサー145bによって規定される間隙を持つ。

【0114】溶融シリカブロック141aおよび141bの長さは、それぞれ l_2 および l_1 である。 d_1 と d_2 間の関係は、 $d_2 - d_1 = (p/2 + 1/4)\lambda$ である。 l_1 および l_2 間の関係は、 $l_1 - l_2 = (q/4 + 1/8)\lambda$ である。ここで λ は自由空間において $\lambda = 1546\text{ nm}$ である。入力および出力ポートはセルホックグレーデッドインデックスレンズ142a、142bおよび142cの出力端面に配置されている。

【0115】図47の回路の動作は以下のものである。その光軸のGRINレンズ142aに入射した光ビームは、レンズを通しおよびその光軸を通してレンズを出るような角度に向けられる。ビーム分割フィルタ143の反射コーティングに衝突したビームは、ビームの半分が後方に反射され、一方他の半分はエタロン145bに向かう経路を通して直線に沿って進み続ける。フィルタ143から反射された反射光は、GTエタロン145aに向かう。二つのビームがそれぞれのエタロンを通過した後、それらはフィルタ143で外向きに反射され、および結合し、およびそれぞれの出力ポート142bおよび142cに向けられる。

【0116】図47に示された光回路の形態は先の実施形態例に示されたものとは異なるが、機能性および基本的構成要素は同一である。

【図面の簡単な説明】

本発明の例示の実施形態例が図面と関連して記述される。ここで、

【図1】先行技術を示すMichelson-Gires-Tournois干渉計に関する図であり、そのうち、(A)はMichelson-Gires-Tournois干渉計の回路ブロック図であり、(a)は二出力Michelson-Gires-Tournois干渉計に対する位相対波長を描いた対数グラフであり、(b)はMichelson-Gires-Tournois干渉計の擬似出力応答のグラフである。

【図2】本発明の実施形態例の図で、(A)は、単一エタロン干渉計構造のブロック図であり、(a)は、二出力エタロンに対する位相対波長を描いたグラフである。

【図3】図2(A)に示されたエタロンのより詳細な図である。

【図4】図2(A)に示された構造の別の実施形態例を示す図で、(a)は二つの光伝達ブロックは組み合わせ領域として利用される回路ブロック図であり、(b)は、(a)に示されたものに類似の、回路が逆モードの操作で操作される回路ブロック図であり、(c)は、第

四ポートが加えられた、(a)および(b)に類似の回路ブロック図である。

【図5】図4の(a)から(c)に示された回路ブロック図に類似の好ましい実施形態例を描く詳細なブロックの図である。

【図6】マルチ空洞エタロンに関する図で、(a)は、(c)に示されたマルチ空洞エタロン用位相出力応答対波長のグラフであり、(b)は、単一空洞エタロンおよびマルチ空洞エタロンの出力応答を描くグラフであり、(c)は、マルチ空洞エタロンが使用されている本発明の別の実施形態例の回路図である。

【図7】本発明の別の実施形態例の線形化された強度出力応答を描くグラフである。

【図8】帯域通過フィルタが提供されるように反射率および位相が選択された、本発明の別の実施形態例の出力応答を描くグラフである。

【図9】プレーナ型導波路技術が利用されている本発明の別の実施形態例の回路図である。

【図10】図9の回路に使用されるMMIカプラーのより詳細なカプラー動作が示される略式図である。

【図11】近接の領域とは異なる屈折率を持つプレーナ型導波路内の領域を設けることによって二つのエタロンが作り出される、本発明の別実施形態例(図9に示されたものに対する別実施形態例)の回路図である。

【図12】先の実施形態例に示されたファブリ・ペロー共振器と機能的に等価リング共振器のブロック回路図である。

【図13】リング共振器が利用されている本発明の更に別の実施形態例のブロック回路図である。

【図14】リング共振器の二つの出力 a_1 および a_2 のスペクトル振幅応答を示す透過率対相対波長のグラフである。

【図15】リング共振器の二つの出力のスペクトル位相応答のグラフである。

【図16】リング共振器のFSRに等価な連続波長チャネルに亘る $-\pi/2$ および $+\pi/2$ 間で交互に代わる位相差を示す、リング共振器の二つの出力 a_1 および a_2 の間の位相差対相対波長のグラフである。

【図17】カプラー干渉計のそれぞれの出力における二つのインターリーブされた信号 a_1 および a_2 のスペクトル伝達を描く透過率対相対波長のグラフである。

【図18】第一カプラーおよび第三カプラー間の導波路の領域が、光源によって照射されることにより制御される屈折率変化を果たすために、より光感応的になるようにドーピングされる、図11に示された基本回路の回路図である。

【図19】デインターリーバー/インターリーバー機能を提供する本発明の実施形態例に従って示される回路の回路図である。

【図 20】図 19 に示される回路の一部の回路図である。

【図 21】光 FDM 透過システム用リング共振器を備えた先行技術の広帯域導波光周期性マルチプレクサ/デマルチプレクサの略式図である。

【図 22】本発明による GT 共振器と組み合わされた導波路 MZ 干渉計に基づく WDM インターリーバー/デインターリーバー回路の実施形態例の略式図である。

【図 23】デバイスの機能性を図式的に示す 3 dB MMI カプラーの略式図である。

【図 24】図 22 に示されたものと類似するが導波路の異なる屈折率を持つ二つの材料の採用によって作られた共振器を持つ、本発明による GT 共振器と組み合わされた導波路 MZ 干渉計に基づく WDM インターリーバー/デインターリーバー回路の別の実施形態例の略式図である。

【図 25】マイクロ・オプティクス GT 共振器が設けられている、本発明による GT 共振器と組み合わされた導波路 MZ 干渉計に基づく WDM インターリーバー/デインターリーバー回路の別の実施形態例の略式図である。

【図 26】デバイスの偏光依存性動作を平衡させるために MZ の上部アームに加えられた鏡を持つ、本発明による GT 共振器と組み合わされた導波路 MZ 干渉計に基づく WDM インターリーバー/デインターリーバー回路の別の実施形態例の略式図である。

【図 27】スペーサーが二つのアーム間の長さの差を補償するために上部の鏡に導入されている、図 26 のデバイスの折り畳み式を示す本発明の実施形態例の略式図である。

【図 28】二つの 50/50 カプラーが長さ $3L_{\pi}/2$ の 4×4 MMI カプラーに置き換えられた、図 27 のデバイスに類似のデバイスを示す図である。

【図 29】、第二 3 dB カプラーの後方の MZ 共振器干渉計の光波場のグラフである。

【図 30】第二 3 dB カプラーの後方の MZ 共振器干渉計の光波場間の差を描くグラフである。

【図 31】MZ 共振器干渉計の出力における二つのデインターリーブされた信号 a_{out1} および a_{out2} のスペクトル透過のグラフである。

【図 32】MZ 共振器干渉計の出力における二つのデインターリーブされた信号 a_{out1} と a_{out2} のスペクトル透過のグラフである。

【図 33】対称形または非対称形のいずれかに設計され得る WDM インターリーバーの略式図である。

【図 34】第二 3 dB カプラーの後方のインターリーバー 33 の二つの光波場間の位相差のグラフである。

【図 35】デバイスが対称的に設計されている、図 33 のデバイスの出力における二つのデインターリーブされた信号のスペクトル透過を示す透過対光周波数のグラフである。

【図 36】デバイスが非対称的に設計されている、第二 3 dB カプラーの後方の図 33 のインターリーバーの二つの光波場間の位相差を描く位相差対光周波数のグラフである。

【図 37】デバイスが非対称的に設計されている、図 33 のデバイスの出力における二つのデインターリーブされた信号のスペクトル透過を描く透過対光周波数のグラフである。

【図 38】一個の GT 共振器のみが使用されている構成のもので、(a) はその本発明の別の実施形態例を示す図であり、(b) はその回路の一部の詳細な図である。

【図 39】本発明による 2 ポート GT インターリーバー/デインターリーバー回路の回路ブロック図である。

【図 40】本発明による 3 ポート GT インターリーバー/デインターリーバー回路の別の実施形態例である。

【図 41】ビーム分割立方体が二つの部分から作られ、第一は屈折率 n_1 であり、第二は屈折率 n_2 であり、ここでこの二つの半体の物理的長さは等しいが、しかしながら光路長は要求に応じて若干異なることが示されている、本発明の別の実施形態例の図である。

【図 42】ポリマー材料の別の特徴を示す、光路長の熱的变化を示す図である。

【図 43】同じくポリマー材料の別の特徴を示す、拘束薄膜中における光路長の熱的变化を示す図である。図 42、43 に示される温度変化に伴うその経路長変化は極めて重要であり、実際、この特性は熱-光同調型ファブリ・ペローフィルタを製造するためにガラスまたはシリカと組み合わせて使用できる。

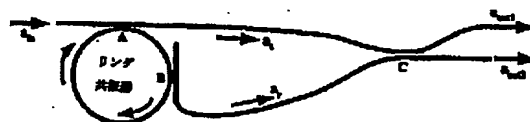
【図 44】図 44 は、本発明の一面による熱-光ファブリ・ペロー同調型フィルタの図である。

【図 45】本発明の一面による熱-光ファブリ・ペロー同調型フィルタの別の実施形態例の図である。

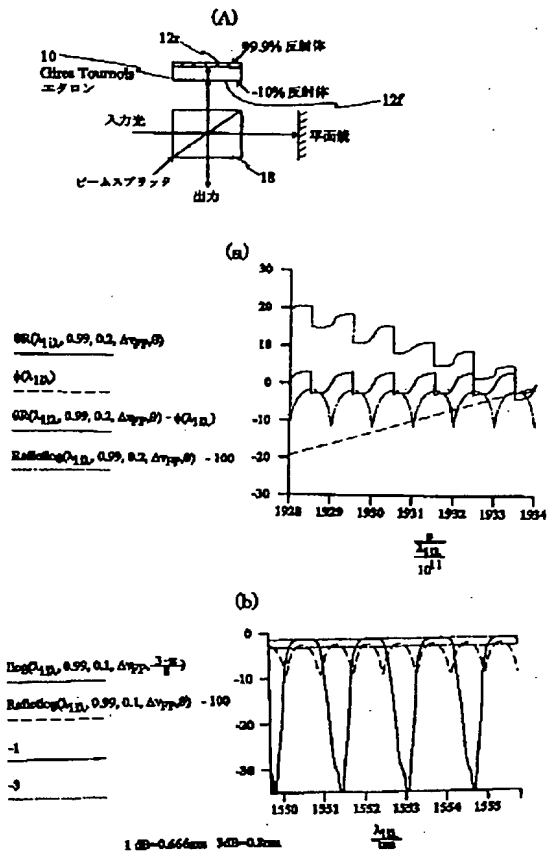
【図 46】本発明の一面による熱-光ファブリ・ペロー同調型フィルタの別の実施形態例の図である。

【図 47】本発明の別のよりコンパクトな実施形態例の図である。

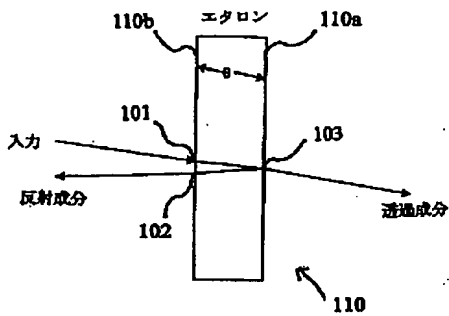
【図 19】



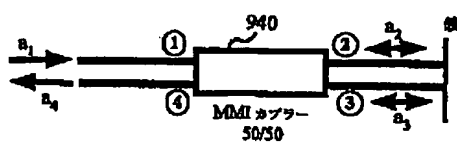
【図 1】



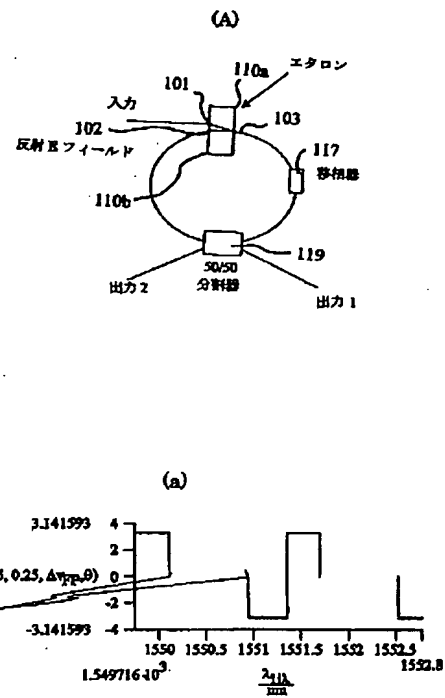
【図 3】



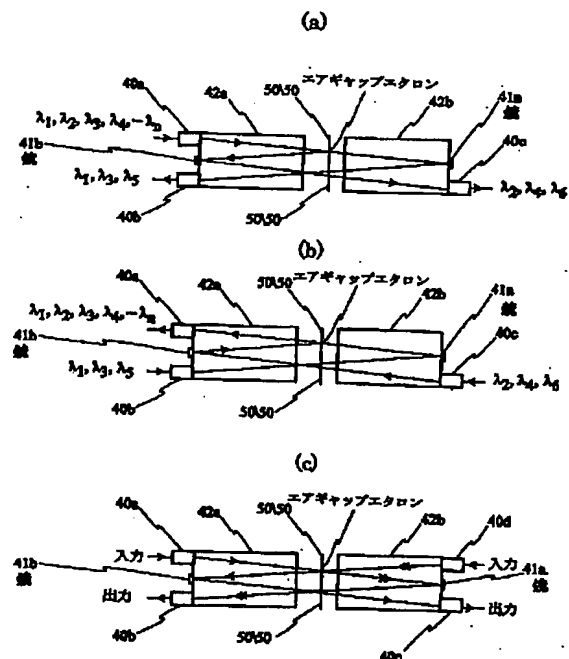
【図 10】



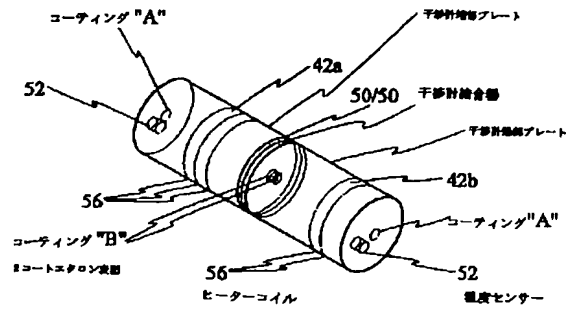
【図 2】



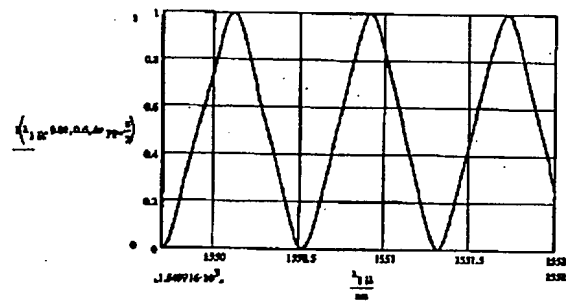
【図4】



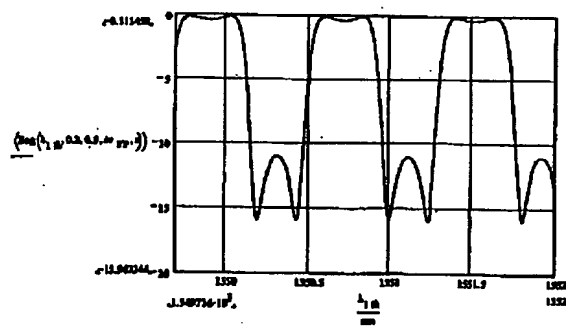
【図 5】



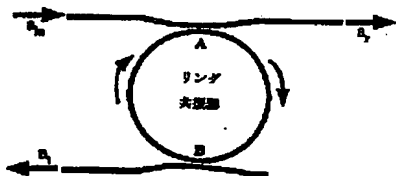
【図 7】



【図 8】

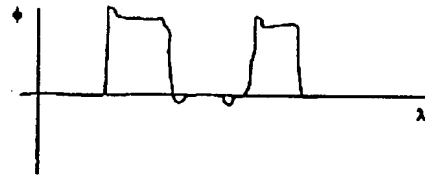


【図 12】

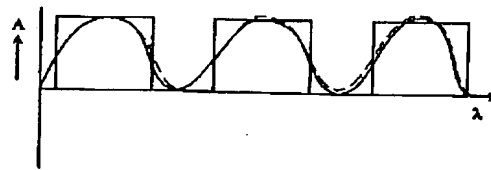


【図 6】

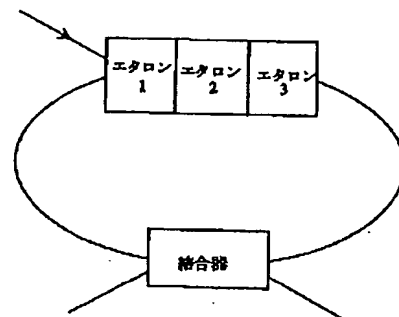
(a)



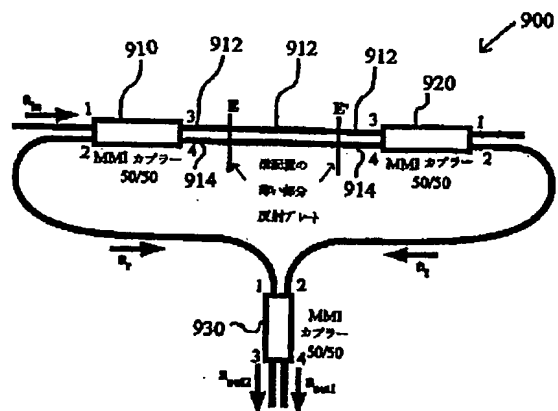
(b)



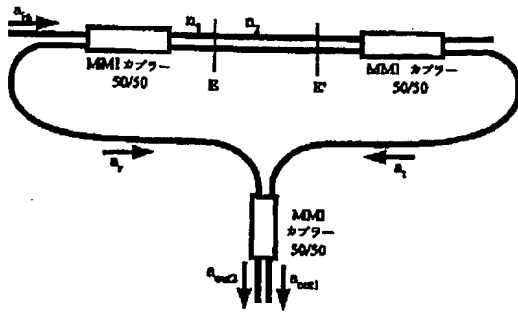
(c)



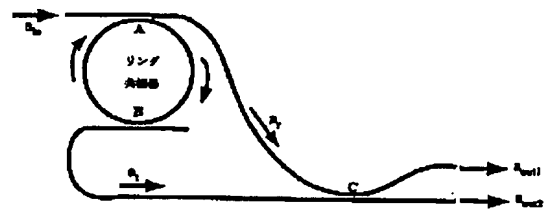
【図 9】



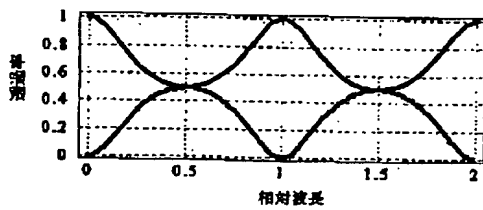
【図 11】



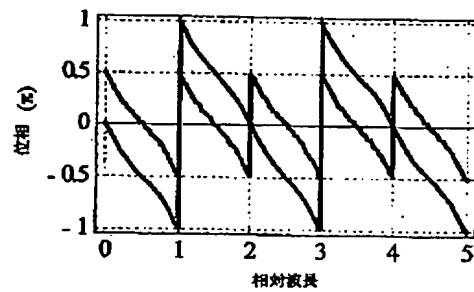
【図 13】



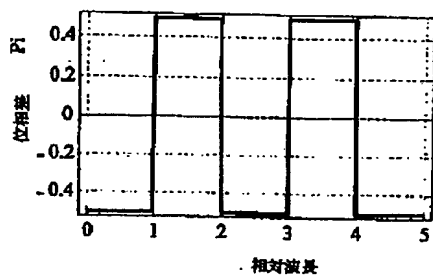
【図 14】



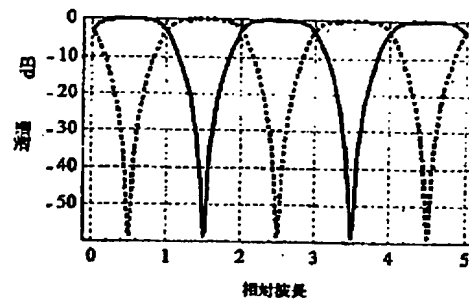
【図 15】



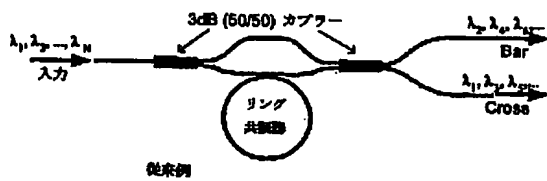
【図 16】



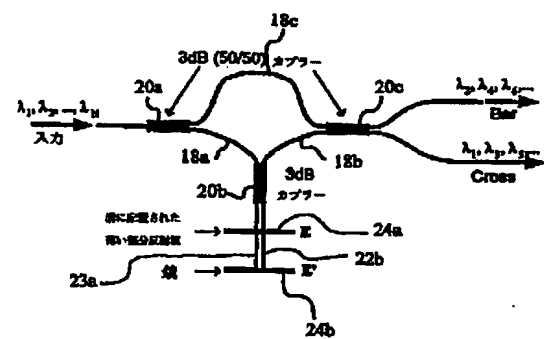
【図 17】



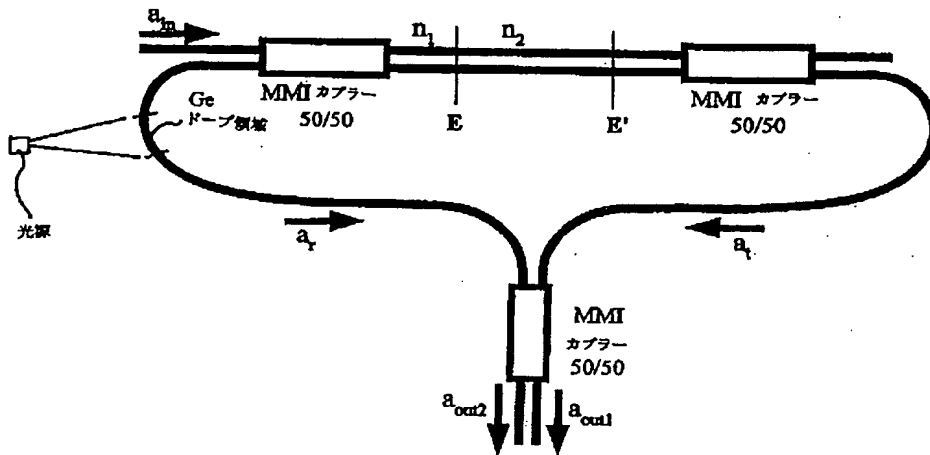
【図 21】



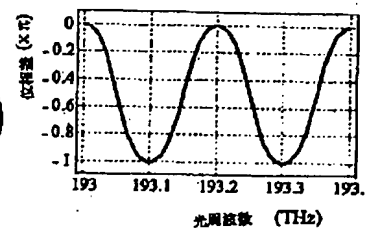
【図 22】



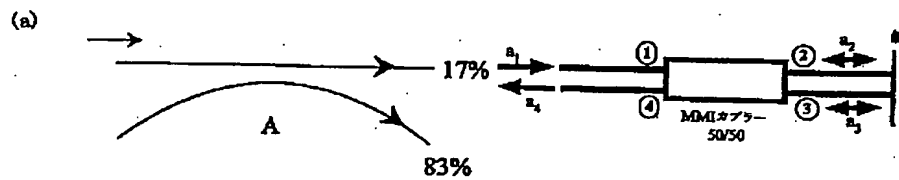
【図18】



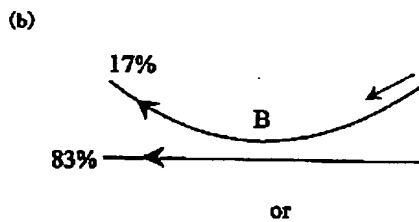
【図34】



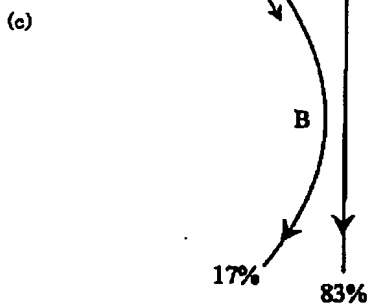
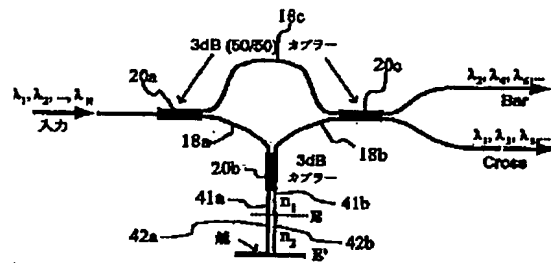
【図20】



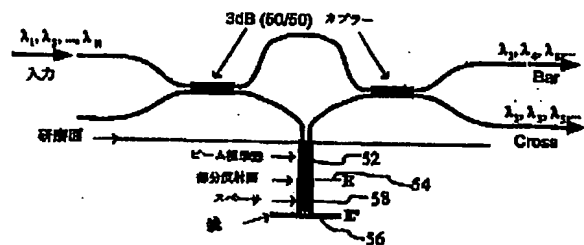
【図23】



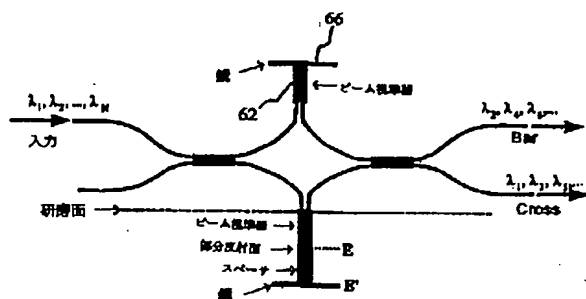
【図24】



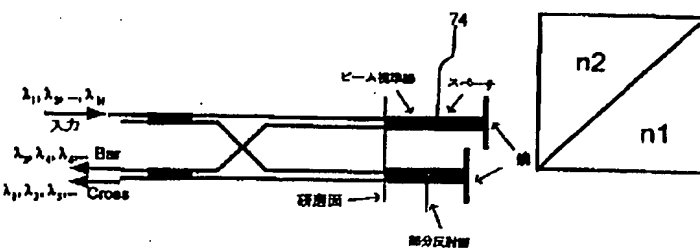
【図25】



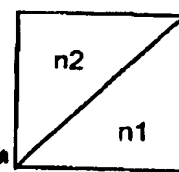
【図 26】



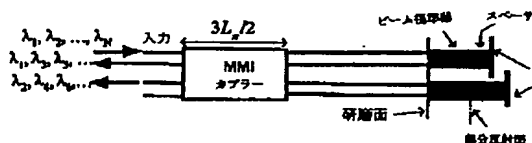
【図 27】



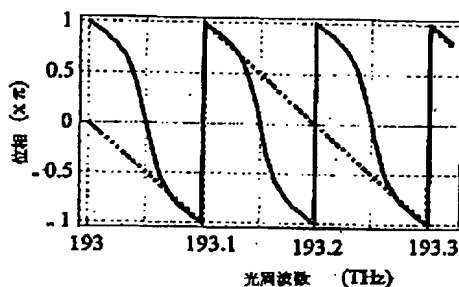
【図 41】



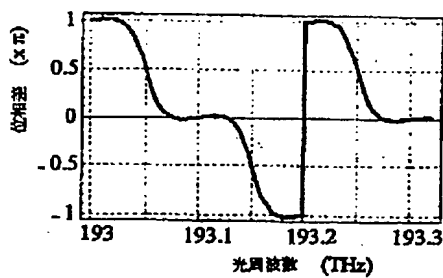
【図 28】



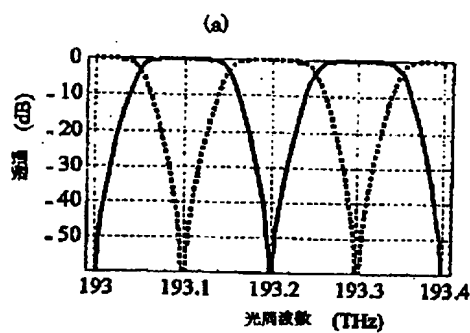
【図 29】



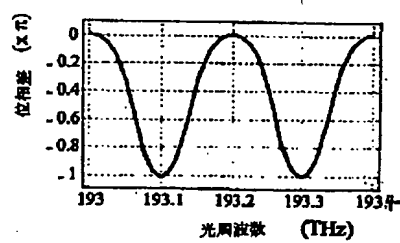
【図 30】



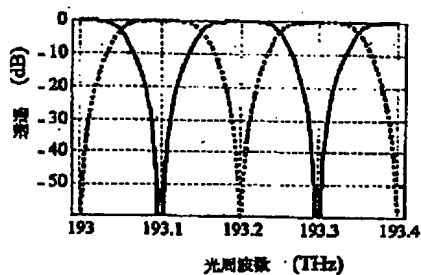
【図 31】



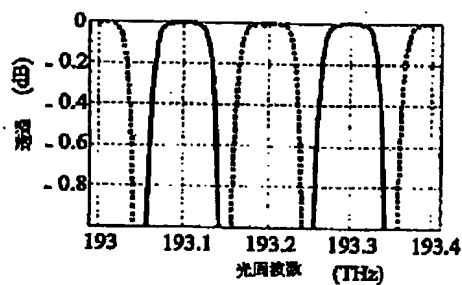
【図 36】



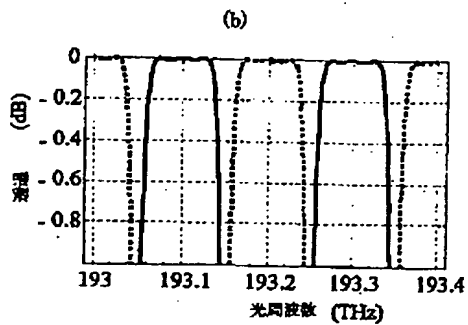
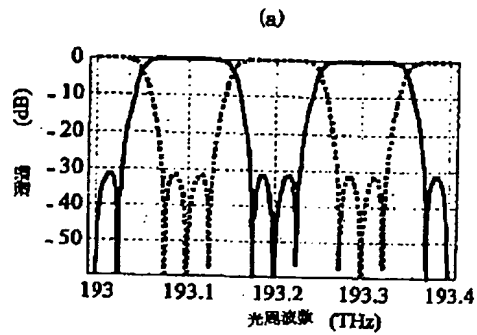
【図 35】



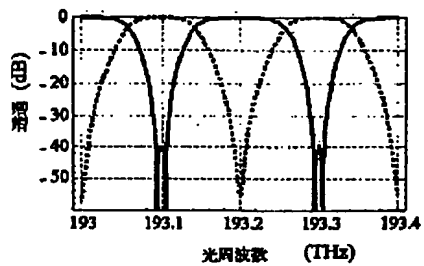
(b)



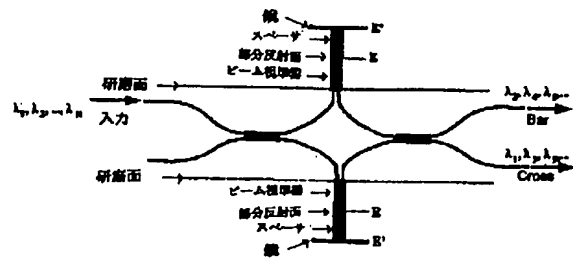
【図32】



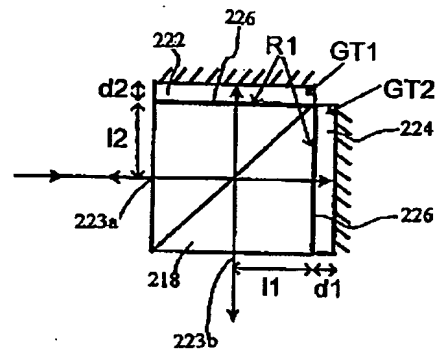
【図37】



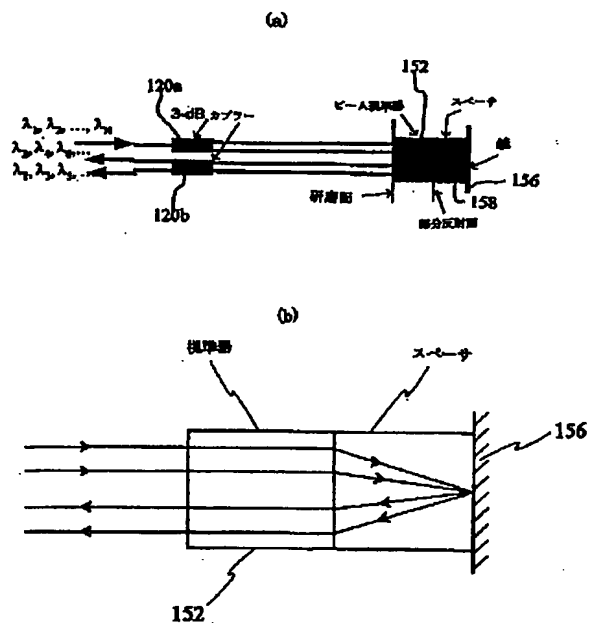
【図33】



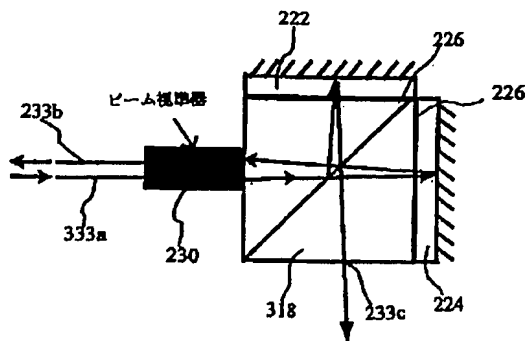
【図39】



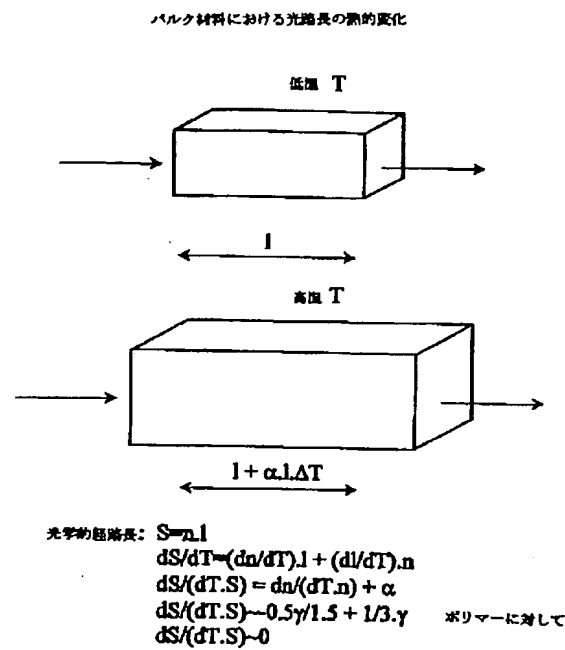
【図38】



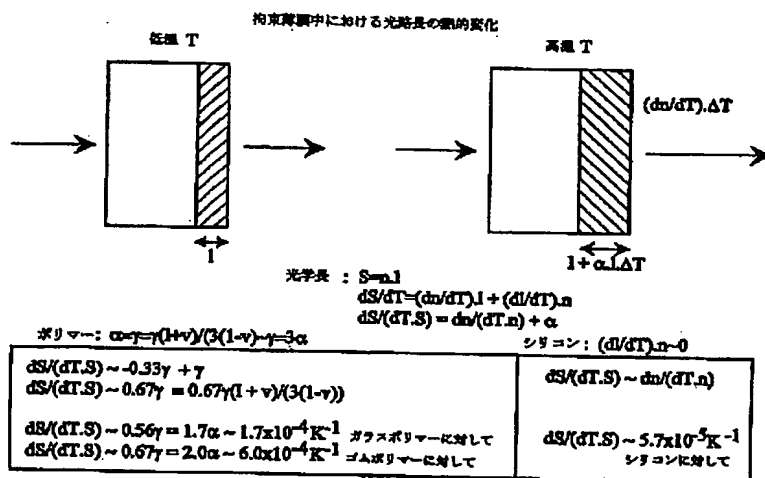
【図 40】



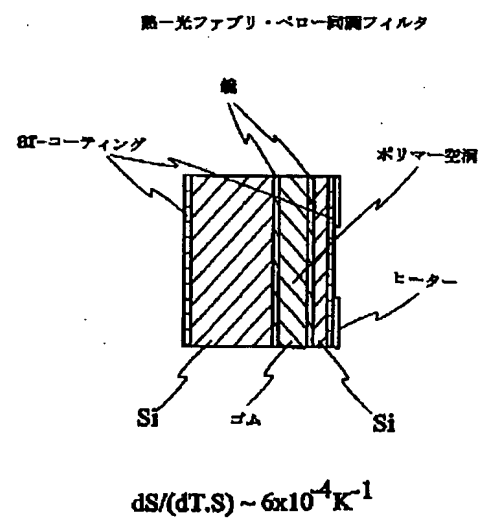
【図 42】



【図 43】



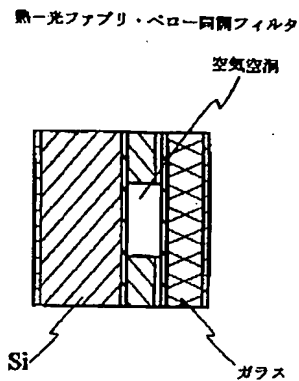
【図 44】



制御

- 1) (ND)ヒーターの TCR を通した温度変化による
- 2) 空洞 (部分的空洞) の静電容量による

【図 4 5】

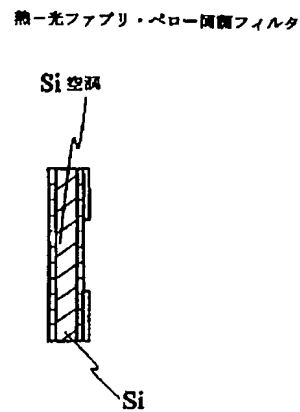


$$dS/(dT.S) \sim 9 \times 10^{-4} K^{-1}$$

制御

- 1) QNDヒーターのTCRを通じた温度変化による
- 2) 空洞 (部分的空洞) の静電容量による

【図 4 6】

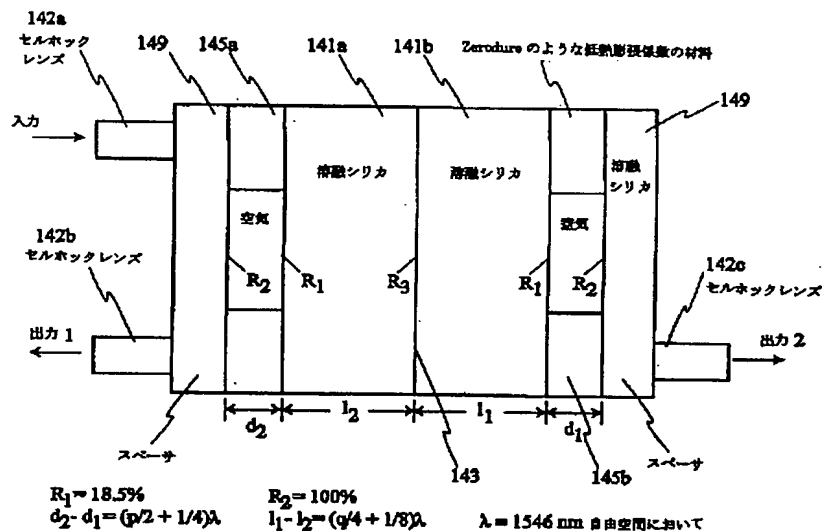


$$dS/(dT.S) \sim 6 \times 10^{-5} K^{-1}$$

制御

- 1) QNDヒーターのTCRを通じた温度変化による
- 2) 空洞 (部分的空洞) の静電容量による

【図 4 7】



【手続補正書】

【提出日】平成12年5月2日(2000. 5. 2)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0047

【補正方法】変更

【補正内容】

【0047】光の約50%はエタロンの前端部を通して伝達され、鏡41aに投射し、次いでレンズ40bに向けられる経路に従う。残りの光はエタロンの後方を通して伝達され、鏡41bに突き当たり、そこで次いでレン

ズ40cのポートに向けられる。示されるように、中心波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 、...、 λ_n を持つチャンネルは、レンズ40aのポートに入射した時、チャンネルはレンズ40bおよび40cのポートで、それぞれチャンネルグループ λ_1 、 λ_3 、 λ_5 ...と λ_2 、 λ_4 、 λ_6 、...にデインターリーブされ、それによって二つのデインターリーブされたグループを提供する。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0050

【補正方法】変更

【補正内容】

【0050】干渉計結合器は、50/50コーティングによって都合よく統合されている。エタロンにはこのコーティングがない。図4に示された視準／焦点GRINレンズは、図5では図の明瞭性のために示されていない。二つの干渉計端部プレート42間の相対温度差を決定する温度センサー52が、プレート42の端部に示されている。端部プレート42の周囲に好都合に覆われたヒーター56が、エタルンの相対する端部を通過する伝達されたおよび反射された光信号間の位相関係を制御するために、温度センサー52と共に使用される。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0060

【補正方法】変更

【補正内容】

【0060】勿論、各デインターリーブされた出力ストリームは、チャンネル化された信号をさらにデインターリーブするために別の同様なデインターリーブ回路にも提供される。例えば図9を参照して記述されたもののような第一段において、チャンネル1, 3, 5, 7, . . . は $a_{u,1}$ における出力であり、チャンネル2, 4, 6, 8, . . . は $a_{u,2}$ における出力である。チャンネル1, 3, 5, 7, 9は、他の二つのデータストリーム1, 5, 9および3, 7, 11が更に多重分離化されるように、エタロンがより大きなFSRを持つ、回路900と同様な回路に提供される。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0075

【補正方法】変更

【補正内容】

【0075】これ以降により詳細に記述される図26は、デバイスが最早偏光に依存しないように、この動作を補償する。図24を参照して、共振器が異なる屈折率を持つ二つの材料を採用することにより形成される別の実施形態例が示されている。光は、フレネル反射により二つの材料の境界で部分的に反射される。屈折率間の差は希望する反射率を遂行するために比較的高くなければならない。屈折率 n_1 を持つ導波路41aは、屈折率 n_2 を持つ導波路42aに直接結合される。導波路41bおよび42bはGT共振器を形成するために平行に配置さ

れている。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0103

【補正方法】変更

【補正内容】

【0103】図40は、図39と同様な本発明によるインターリーバー回路の別の実施形態例を示すが、しかしながらビーム分割立方体318の端面に垂直であるよりも、むしろ角度をもってグレーデッドインデックス (GRIN) レンズ230の形式のビーム視準器を経由して入射する入力ビームを持っている。このことは、一つの入力ポート333aおよび二つの分離出力ポート233bおよび233cを与えることにより光回路の複雑性を実質的に減少させる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0104

【補正方法】変更

【補正内容】

【0104】対照的に、図39に示された回路は、一つの入力／出力ポート223aおよび一つの入力ポート223bを持ち、入力／出力ポートの出力端部から外へ光を結合するためには、光サーキュレータまたは外部結合デバイスが必要であり、デバイスのコストと複雑さを増す。勿論、図40の回路がデインターリーバーの代わりにインターリーバーとして使用される時、二つの出力ポート233bおよび233cは入力ポートとして働き、入力ポート333aはチャンネルのインターリーブされたストリームの運搬出力ポートとして働く。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0105

【補正方法】変更

【補正内容】

【0105】図39の回路はポート223aおよび223bに結合されるビーム視準／焦点レンズを持つように示されていないが、回路は各ポートに、ビーム分割立方体と光導波路間の結合用のこのようなレンズを必要とする。図39の回路において、光はこのようなレンズの光軸に沿って入射する。図40において、ビーム視準器230の外向き端面で等距離でかつ所定の大きさだけオフセットしたポートの位置は必要な角度を与える。

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 09/358445
(32)優先日 平成11年7月22日(1999. 7. 22)
(33)優先権主張国 米国 (US)

(31)優先権主張番号 2278358
(32)優先日 平成11年7月22日(1999. 7. 22)
(33)優先権主張国 カナダ (CA)

(31)優先権主張番号 09/383069
(32)優先日 平成11年8月26日(1999. 8. 26)
(33)優先権主張国 米国(US)
(31)優先権主張番号 09/409434
(32)優先日 平成11年9月30日(1999. 9. 30)
(33)優先権主張国 米国(US)
(71)出願人 500003660
570 West Hunt Club Road,
Nepean, Ontario, Canada K2G5W8
(72)発明者 レザ バイアム
カナダ オンタリオ州 K1V 9V8
オタワ アップランズドライブ708-3301
(72)発明者 マーク ファリエス
カナダ オンタリオ州 K2E 6L5
ネピアン チベルトンドライブ26

(72)発明者 ボール コルブールヌ
カナダ オンタリオ州 K2G 3Y6
ネピアン ウッドフィールドドライブ45D
(72)発明者 ジョシュア ビー ジェイ フィリップソン
カナダ オンタリオ州 K1R 5R5
オタワ フローラストリート NO. 3-128
(72)発明者 バリー キーワース
カナダ オンタリオ州 K2S 1M2
スティットスヴィール ジャクリーヌクレセント45
(72)発明者 ジミン クシー
カナダ ケベック州 J9J 2P1 アリマー
アーサーリムボード12
(72)発明者 シャオリ フー
カナダ オンタリオ州 K2E 6J4
ネピアン メドーランズドライブ1150
アパートメント510

【外国語明細書】

1 Title of Invention

INTERFEROMETRIC OPTICAL DEVICE INCLUDING AN OPTICAL RESONATOR

2 Claims

1. A filtering device comprising:

a resonant optical cavity having a first and a second partially transmissive reflector, said resonant optical cavity having a first port disposed at the first partially transmissive reflector and a second port disposed at the second partially transmissive reflector; and, means for combining light beams, said means being optically coupled with the first and second ports of the resonant optical cavity, said means being capable of combining light beams exiting the first and second port so that they interfere to provide one or more output beams of light.

2. A filtering device as defined in claim 1, wherein the resonant optical cavity has an input port and wherein the first and second ports disposed at the first and second partially transmissive reflectors, respectively, are two output ports.

3. A filtering device as defined in claim 1, wherein the device is capable of filtering an optical signal having a channel having center wavelength of λ_c , and wherein the first and second partially transmissive reflectors are disposed at least $5\lambda_c$ apart.

4. A filtering device as defined in claim 3, wherein the optical cavity is an etalon, and wherein the first and second partially transmissive reflectors are first and second end faces of the etalon, respectively.

5. A filtering device comprising:

an optical ring resonator having a first and a second waveguide coupled thereto, one of the first and the second waveguides having an end for receiving an input signal to be

filtered, the first and the second waveguide being optically coupled with the optical resonator at a first and second location respectively, for allowing light to couple into the resonator from one or more of the waveguides and or into one or more of the waveguides from the resonator;

an optical coupler for coupling light within the two waveguides between said waveguides, the coupler being at a location along the waveguides such that output ends provide a filtering of said input light.

6. A filter device as defined in claim 4, wherein the etalon is a low finesse Fabry-Perôt etalon.

7. A filtering device as defined in claim 4, further comprising first and second waveguide arms disposed between the first and second output ports and the means for combining respectively.

8. A filtering device as defined in claim 7, wherein the first and second waveguide arms are optical fibres.

9. A filtering device as defined in claim 8, further comprising a GRIN lens disposed between at least one of the optical fibre ends and at least one of an end face of one of the partially transmissive reflectors, and the phase shifting means.

10. A filtering device as defined in claim 4, including a first waveguide arm coupled between the first output port and the means for combining light beams exiting the first and second output ports, and a second waveguide arm coupled between the second output port and the means for combining light beams exiting the first and second output ports so that they interfere.

11. A filtering device as defined in claim 7 further comprising a phase shifter disposed along at least one of the first and second waveguide arms for varying the phase

relationship between two light beams propagating along the first and second waveguide arms.

12. A filtering device as defined in claim 7 further comprising a phase shifter disposed between one of the first and second ports and the means for combining.

13. A filtering device as defined in claim 11, wherein the phase shifter provides a compensation for a phase difference between the two beams.

14. A filtering device as defined in claim 7 wherein the means for combining is a splitter having a predetermined splitting ratio.

15. A filtering device as defined in claim 2, wherein the resonant optical cavity, comprises an odd number of resonant optical cavities, at least one of the optical cavities having a free-spectral range of $5\lambda_c$ wherein the device is capable of filtering an optical signal having a channel having center wavelength of λ_c .

16. A filtering device comprising:
an asymmetric interleaver/de-interleaver having an optical resonator for multiplexing and de-interleaving two streams of optical signals, the two streams having substantially different bandwidths.

17. A filtering device as defined in claim 16 wherein the optical resonator is an etalon having mirror reflectivities that provides substantially different channel spacing for two de-interleaved streams.

18. A filtering device as defined in claim 17 comprising a plurality of etalons for enhancing isolation.

19. A filtering device comprising:

a first GRIN lens and a second GRIN lens, the lenses having a substantially collimating end and a substantially focusing end;

a first light transmitting spacer and a second light transmitting spacer between the substantially collimating ends of the first and second GRIN lenses, the spacers defining combining regions for light beams to combine;

a beam splitting filter and a resonant optical cavity having a first and a second partially transmissive reflector being disposed between the first and second light transmitting spacers, said resonant optical cavity having a first port disposed at the a first partially transmissive reflector and a second port disposed at the second partially transmissive reflector.

20. A filtering device as defined in claim 19 further comprising temperature sensors disposed about the first and second spacers for determining at least the relative temperature difference between the two light transmissive spacers.

21. A filtering device as defined in claim 20 further comprising a heater or cooler disposed about at least one of the light transmissive spacers, for varying the phase between two optical signals entering the optical cavity or exiting the optical cavity.

22. A method of filtering an input beam comprising multiplexed channels of light each occupying a predetermined wavelength band, at least one of the channels having a centre wavelength of λ_c , the method comprising the steps of:

providing the input beam to a resonant optical cavity having a first end face and a second end face spaced a distance apart of at least 5λ ;

interfering a first output beam from the first end face of the resonant optical cavity;

with a second output beam from the second end face of the resonant optical cavity to produce one or more filtered output beams.

23. A method of filtering as defined in claim 22 further comprising the steps of varying the phase relationship between the first output beam and the second output beam prior to combining the two captured beams.

24. A method as defined in claim 23, wherein the step of varying the phase relationship is performed so as to provide a phase offset of π at intervals of transmission spectral peaks between the first and second output beams to provide a de-interleaver filter.

25. A method of providing a linearized intensity variation with wavelength comprising the steps of:

providing the input beam to a resonant optical cavity;

capturing a first output beam from a first end face of the resonant optical cavity;

capturing a second output beam from a second end face of the resonant optical cavity;

and,

combining the two captured beams so that they interfere with one another to produce one or more filtered output beams.

26. A method as defined in claims 25 wherein the resonant cavity is an etalon.

27. A filtering device comprising:

an optical resonator having a first and a second waveguide coupled thereto, one of the first and the second waveguides having an end for receiving an input signal to be filtered, the first and the second waveguide being optically coupled with the optical resonator at a first and second location respectively, for allowing light to couple into the resonator from one or more of the waveguides and or into one or more of the waveguides from the resonator;

an optical coupler for coupling light within the two waveguides between said waveguides, the coupler being at a location along the waveguides such that output ends provide a filtering of said input light.

28. A filtering device as defined in claim 27, wherein the optical resonator is a ring resonator.

29. A filtering device as defined in claim 28, comprising a first and second coupler at the first and second location for allowing the light to couple into the resonator from one or more of the waveguides and or into one or more of the waveguides from the resonator.

30. A filtering device as defined in claim 29, wherein the first coupler ensures that the coupling ratio is at least 80:20 such that substantially more light is coupled into the resonator than remains in the waveguides by said coupler.

31. A filtering device as defined in claim 30, wherein the second coupler ensures that the coupling ratio is at least 20:80 such that substantially more light is coupled into the waveguides than remains in the resonator.

32. A filtering device as defined in claim 29, wherein the first coupler ensures that the coupling ratio is substantially about 17:83, such that substantially more light is coupled into the resonator than is coupled into the waveguides by said first and second couplers.

33. A filtering device as defined in claim 29, wherein the optical coupler for coupling light within the two waveguides between said waveguides at a location along the waveguides is a substantially 50:50 coupler.

34. A filtering device as defined in claim 29, wherein the optical coupler is an MMI coupler.

35. A filtering device as defined in claim 29, wherein the optical coupler is a directional coupler.

36. A filtering device as defined in claim 33, wherein output signals at output ends of the waveguides are substantially de-interleaved.

37. A method of phase tuning the filtering device as defined in claim 33 comprising the step of irradiating at least one of the optical waveguides with light of a suitable intensity, wavelength and duration to effect a suitable refractive index change in said waveguide.

38. A method of phase tuning the filtering device as defined in claim 33 comprising the step of irradiating one of the first and second optical waveguides with light of a suitable intensity, wavelength and duration to effect a suitable refractive index change in said waveguide.

39. A method of tuning as defined in claim 38, wherein said waveguide that is irradiated is first doped with a material that will effect a permanent refractive index change in the presence of light of a suitable intensity, wavelength and duration.

40. A method of tuning the filtering device as defined in claim 33 comprising the step of providing a suitable refractive index change over a length of one of the first and second waveguides so as to effect a required amount of tuning.

41. A filtering device as defined in claim 33 wherein the filter is an interleaver/de-interleaver filter.

42. A filtering device as defined in claim 41, wherein the optical path length from the first coupler to the optical coupler for coupling light within the two waveguides is substantially the same as the optical path length from the second coupler to the optical coupler for coupling light within the two waveguides.

43. A monolithic integrated filtering device comprising:
an optical resonator having a first and a second ports for allowing light to couple between the optical resonator and first and second waveguides; and,
means for combining light beams propagating within the first and second waveguides, said means being optically coupled with the first and second waveguides so that they interfere to provide one or more output beams of light.

44. A monolithic integrated filtering device as defined in claim 27, wherein the optical resonator is a ring resonator.
45. A monolithic integrated filtering device as defined in claim 27 wherein the device is an interleaver/de-interleaver circuit.
46. A monolithic integrated filtering device as defined in claim 45, wherein the couplers and waveguides are disposed within a planar monolithic slab-like substrate.
47. An interleaver/de-interleaver circuit comprising:
a first coupler having an input port and at least two output ports;
a second coupler having two input ports and two output ports, the at least two output ports of the first coupler being optically coupled with the two input ports of the second coupler;
an optical cavity having a partially reflective surface having a reflectivity E at one end and a reflective surface at another end with a higher reflectivity E' , the optical cavity being optically coupled to one of the at least two output ports of the first coupler and at one of the two input ports of the second coupler.
48. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 47, wherein the two couplers form a MZ interferometer.
49. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 47, wherein one of the at least two output ports of the first coupler is coupled to one of the two input ports of the second coupler via a waveguide disposed between said two ports.
50. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 47, wherein the first coupler and the second coupler are 50/50 couplers.

51. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 47, wherein the circuit is a polarization-wavelength interleaver for providing orthogonally polarized channels in a de-interleaving mode of operation and for providing in an interleaving mode of operation one of, a polarized stream of channels, and a stream of channels having each adjacent channels being orthogonally polarized.

52. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 47, wherein a mirror is provided at or within at least one arm of the coupler to balance the polarization dependent behaviour of the circuit.

53. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 52, further comprising a collimator for launching collimated light toward the mirror and for focusing light received from the mirror.

54. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 50, further comprising a third coupler coupled to one of the at least two output ports of the first coupler and one of the two input ports of the second coupler.

55. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 54, wherein the third coupler is a 50/50 coupler.

56. An interleaver/de-interleaver circuit comprising:
a Mach-Zehnder interferometer having two optical branch paths between two 50/50 couplers, one of the two branch paths including an etalon within the path, such that light traversing said one branch path is coupled from one of the couplers to the other after resonating within the etalon, light traversing another of the two branch paths interfering with the light traversing the other branch path within one of the two couplers.

57. An interleaver/de-interleaver circuit comprising:
a coupling means having a first input port IN_1 and at least two output ports OUT_1 and OUT_2 ;

the coupling means having two other input ports IN_2 and IN_3 and two other output ports OUT_3 and OUT_4 , the at least two output ports OUT_1 and OUT_2 being optically coupled with the two input ports IN_2 and IN_3 ;

an optical cavity having a partially reflective surface having a reflectivity E at one end and a reflective surface at another end with a higher reflectivity E' , the optical cavity being optically coupled to one of the at least two output ports OUT_1 and OUT_2 and at one of the two input ports IN_2 and IN_3 .

58. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 57, wherein the coupling means is an at least 4×4 MMI coupler having a length $3 L_{\pi}/2$.

59. An interleaver/de-interleaver circuit as defined in claim 57, wherein the coupling means comprises two MMI couplers.

60. An interleaver/de-interleaver as defined in claim 49, further comprising a mirror coupled to two arms of the MMI coupler for lessening the polarization dependence of the interleaver/de-interleaver and for providing a substantially polarization insensitive interleaver/de-interleaver.

61. An interleaver/de-interleaver as defined in claim 60 further comprising a beam collimator for receiving light from one of the two arms and for providing a collimated beam to the mirror, said beam collimator for receiving reflected light from the mirror and for providing focused light to the other of the two arms.

62. An interleaver/de-interleaver as defined in claim 61, further comprising a light transmissive spacer between the beam collimator and the mirror for providing a required path length difference between two main paths of MMI coupler.

63. An interleaver/de-interleaver as defined in claim 62, wherein each of the two main paths comprise two arms, each arm directly coupled to one of said ports.

64. An interleaver/de-interleaver comprising:

a MZ-interferometer having an input/output port and two output/input ports;
a GT resonator optically coupled with the MZ- interferometer, the GT resonator for providing additional filtering and for lessening the sinusoidal shape of de-interleaved channels.

65. A method of providing orthogonally polarized de-interleaved channels comprising the step of:

launching only one of vertical polarized light and horizontally polarized light into the device of claim 21, and receiving de-interleaved channels of light.

66. A method of providing light of orthogonally polarized adjacent channels, comprising the steps of:

providing a stream of channelized light having a 45 degree linear polarization with respect to a first plane, said 45 degree linear polarized light lying in a second plane normal to the first plane, the first plane containing lines extending from the two output/input ports of the device defined in claim 21;

launching said light into one of the two input/output ports; and,
receiving light from at least one of the output/input ports.

67. A method of manufacturing an interleaver/de-interleaver circuit comprising the steps of:

providing a Mach-Zehnder interferometer having two optical waveguides between two 50/50 couplers;

providing an etalon optically coupled with one of the two waveguides, such that light traversing said one waveguide is coupled from one of the couplers to the other after resonating within the etalon, light traversing another of the two waveguides interfering with the light traversing the other waveguide within one of the two couplers; and,
phase tuning the circuit by irradiating at least one of the two waveguides with light of a suitable intensity, wavelength and duration to effect a suitable refractive index change in said waveguide.

68. A multiplexor/demultiplexor comprising:
a beam splitter for splitting a beam into a first and a second sub-beam of light;
a first GT resonator disposed to receive the first sub-beam of light;
a second GT resonator disposed to receive the second sub-beam of light; and
a beam combiner for combining light output from the first and second GT resonators.
69. A multiplexor/demultiplexor as defined in claim 68, wherein at least one of the GT resonators are comprised of a polymer that is sensitive to temperature for controllably varying a gap between two reflective surfaces of at least one of the first and second GT resonators.
70. A multiplexor/demultiplexor as defined in claim 69, further comprising a control circuit for controlling the temperature about the polymer to controllably vary the gap of at least one of the first and second GT resonators.
71. A multiplexor/demultiplexor as defined in claim 70 wherein the control circuit includes a heater for raising the temperature of the polymer.
72. A multiplexor/demultiplexor comprising:
a beam splitter/combiner for splitting a beam launched therein in from a first location into a first and a second sub-beam of light and for combining received sub-beams launched from other locations therein into a single beam of light;
a first GT resonator disposed to receive the first sub-beam of light from the beam splitter/combiner; and
a second GT resonator disposed to receive the second sub-beam of light from the beams splitter/combiner, the resonators providing a feedback signal in response to receiving the first and second sub-beams of light, respectively, to the beam splitter/combiner.

73. A multiplexor/demultiplexor as defined in claim 72, wherein at least one of the GT resonators comprise a material having a path length change with temperature to provide a tunable hybrid thermo-optically Fabry-Perôt filter.

74. A method of de-multiplexing an optical signal into or de-interleaved light channels, comprising the steps of:
splitting a beam of light comprising a plurality of light channels launched therein in from a first location into a first and a second sub-beam of light in a wavelength and polarization independent manner,
providing the first sub-beam to a first GT resonator disposed to receive the first sub-beam of light;
providing the second beam of light to a second GT resonator disposed to receive the second sub-beam of light,
receiving a first output signal from the first GT resonator, and,
receiving a second output signal from the second GT resonator, wherein the first and second output signals are de-interleaved light channels .

75. A method as defined in claim 74, further comprising the step thermo-optically tuning at least one of the GT resonators.

76. A method as defined in claim 77 [WARNING: FORWARD CLAIM REFERENCE] further comprising the step of tuning at least one of the GT resonators to change its free-spectral-range.

77. A method as defined in claim 76, wherein the step of tuning includes the step of varying the response of at least one of the etalons to provide asymmetric channels.

78. A method as defined in claim 77, wherein the step of tuning includes the step of varying the response of at least one of the etalons to provide symmetric channels.

3 Detailed Description of Invention

Field of the Invention

This invention relates to generally to a multi-port optical cavity and more particularly to an optical cavity having at least three-ports and use thereof.

Background of the Invention

Using optical signals as a means of carrying channeled information at high speeds through an optical path such as an optical waveguide i.e. optical fibres, is preferable over other schemes such as those using microwave links, coaxial cables, and twisted copper wires, since in the former, propagation loss is lower, and optical systems are immune to Electro-Magnetic Interference (EMI), and have higher channel capacities. High-speed optical systems have signaling rates of several mega-bits per second to several tens of giga-bits per second.

Optical communication systems are nearly ubiquitous in communication networks. The expression herein "Optical communication system" relates to any system that uses optical signals at any wavelength to convey information between two points through any optical path. Optical communication systems are described for example, in Gower, Ed. Optical communication Systems, (Prentice Hall, NY) 1993, and by P.E. Green, Jr in "Fiber optic networks" (Prentice Hall New Jersey) 1993, which are incorporated herein by reference.

As communication capacity is further increased to transmit an ever-increasing amount of information on optical fibres, data transmission rates increase and available bandwidth becomes a scarce resource.

High speed data signals are plural signals that are formed by the aggregation (or multiplexing) of several data streams to share a transmission medium for transmitting

data to a distant location. Wavelength Division Multiplexing (WDM) is commonly used in optical communications systems as means to more efficiently use available resources. In WDM each high-speed data channel transmits its information at a pre-allocated wavelength on a single optical waveguide. At a receiver end, channels of different wavelengths are generally separated by narrow band filters and then detected or used for further processing. In practice, the number of channels that can be carried by a single optical waveguide in a WDM system is limited by crosstalk, narrow operating bandwidth of optical amplifiers and/or optical fiber non-linearities. Moreover such systems require an accurate band selection, stable tunable lasers or filters, and spectral purity that increase the cost of WDM systems and add to their complexity. This invention relates to a method and system for filtering or separating closely spaced channels that would otherwise not be suitably filtered by conventional optical filters.

Currently, internationally agreed upon channel spacing for high-speed optical transmission systems, is 100 Ghz, equivalent to 0.8 nm, surpassing, for example 200 Ghz channel spacing equivalent to 1.6 nanometers between adjacent channels. Of course, as the separation in wavelength between adjacent channels decreases, the requirement for more precise demultiplexing circuitry capable of ultra-narrow-band filtering, absent crosstalk, increases. The use of conventional dichroic filters to separate channels spaced by 0.4 nm or less without crosstalk, is not practicable; such filters being difficult if not impossible to manufacture.

In a paper entitled Multifunction optical filter with a Michelson-Gires-Turnois interferometer for wavelength-division-multiplexed network system applications, by Benjamin B. Dingle and Masayuki Izutsu published 1998, by the Optical Society of America, a device hereafter termed the GT device provides some of the functionality provided by the instant invention. For example, the GT device as exemplified in Fig. 1(A) serves as a narrow band wavelength demultiplexor; this device relies on interfering a reflected E-field with an E-field reflected by a plane mirror 16. The etalon 10 used has a 99.9% reflective back reflector 12r and a front reflector 12f having a reflectivity of about 10%; hence an output signal from only the front reflector 12f is utilized. A beam

splitting prism (BSP) 18 is disposed to receive an incident beam and to direct the incident beam to the etalon 10. The BSP 18 further receives light returning from the etalon and provides a portion of that light to the plane mirror 16 and a remaining portion to an output port. Although this known GT device appears to perform its intended function, it appears to have certain limitations: As opposed to the device of the instant invention which has a phase difference between transmitted and reflected E-fields of 0 and π radians, the GT as can be seen in the graph of Fig. 1b) has some variation in phase between 0 and π radians. Furthermore, in the GT device a finite optical path difference is required in the interferometer to produce an output response that mimics the one provided by the device of the instant invention. Typically for a 50 GHz free spectral range (FSR) this optical path difference would be a few millimeters; in contrast in the instant invention the optical phase difference need only be approximately $\lambda/4$ resulting in a more temperature stable and insensitive system. One further limitation of the GT device is its apparent requirement in the stabilization of both the etalon and the interferometer. Yet a further drawback to the GT device is the requirement for an optical circulator to extract the output signal adding to signals loss and increased cost of the device; and the requirement of a BSP which is known to have a significant polarization dependent loss. Fig. 1a) shows a graph with a linear plot of the phase difference between the two reflected E-fields from the GT and a mirror with an optical path difference. Further, the graph shows a linear plot of phase variation of reflected light from the GT. A reflection profile is also shown in a logarithmic plot, and a straight sloped dotted line is a linear plot of a GT with a finite optical path difference.

It is an object of this invention to provide a method and circuit for separating an optical signal having closely spaced channels into at least two optical signals wherein channel spacing between adjacent channels is greater in each of the at least two optical signals, thereby requiring less precise filters to demultiplex channels carried by each of the at least two signals.

The present invention is believed to overcome many of the limitations of the prior art GT device and of other known multiplexing and demultiplexing devices.

It is an object of this invention to provide a relatively inexpensive optical circuit for interleaving or de-interleaving optical channels.

It is an object of this invention to provide an etalon based device wherein output signals from two oppositely disposed ports can be controllably interferometrically combined to yield a desired output response.

A wavelength interferometer can be made using a Mach-Zehnder interferometer(MZI). Notwithstanding, the spectral response of the MZI is sinusoidal and consequently does not have a desired flat-top characteristic passband; hence, its spectral window for low crosstalk, is small.

A paper by K. Oda et al., entitled "A wide-band guided-wave periodic multi/demultiplexer with a ring resonator for optical FDM transmission systems, JLT, vol. 6, no. 6, pp 1016-1022, June 1988, discloses improving the spectral response of the MZI and a suitable step-like response can be obtained by adding an all-wave filter such as a ring resonator to one arm of the MZ as is shown in Fig. 1^(A). However, it is generally difficult to implement a low-loss ring resonator in a system having a free-spectral range (FSR) of 100 GHz or 50 GHz.

The instant invention obviates the problems associated with the bulk optics GT device described heretofore, and obviates a device requiring a ring resonator.

It is an object of this invention to provide embodiments of the invention, some of which are planar waveguide implementations for a wavelength interleaver based on an MZ interferometer.

It is a further object of the invention to provide an interleaver that uses an asymmetric MZ combined with a suitable resonator disposed on the shorter arm of the MZ.

Advantageously, the use of a planar waveguide MZ interferometer allows the setting of a required length difference between two arms of the MZ, very accurately.

Summary of the Invention

In accordance with the invention, there is provided, a filtering device comprising:
a resonant optical cavity having a first and a second partially transmissive reflector, said resonant optical cavity having a first port disposed at the first partially transmissive reflector and a second port disposed at the second partially transmissive reflector; and,
means for combining light beams, said means being optically coupled with the first and second ports of the resonant optical cavity, said means being capable of combining light beams exiting the first and second port so that they interfere to provide one or more output beams of light.

In accordance with the invention, a filtering device is provided comprising an optical resonator having a first and a second waveguide coupled thereto, one of the first and the second waveguides having an end for receiving an input signal to be filtered, the first and the second waveguide being optically coupled with the optical resonator at a first and second location respectively, for allowing light to couple into the resonator from one or more of the waveguides and or into one or more of the waveguides from the resonator; an optical coupler for coupling light within the two waveguides between said waveguides, the coupler being at a location along the waveguides such that output ends of the waveguides provide a filtering of said input light.

In accordance with the invention, there is further provided a filtering device comprising an optical ring resonator having a first and a second waveguide coupled thereto, one of the first and the second waveguides having an end for receiving an input signal to be filtered, the first and the second waveguide being optically coupled with the optical resonator at a first and second location respectively, for allowing light to couple into the ring resonator from one or more of the waveguides and or into one or more of the waveguides from the resonator;

a 50:50 optical coupler for coupling light within the two waveguides between said waveguides, the coupler being at a location along the waveguides such that output ends of the waveguides provide a filtering of said input light.

In accordance with a different aspect of the the invention, there is provided, a first coupler having an input port and at least two output ports;
a second coupler having two input ports and two output ports, the at least two output ports of the first coupler being optically coupled with the two output ports of the second coupler;
an optical cavity having a partially reflective surface E at one end and a reflective surface at another end with a higher reflectivity E', the optical cavity being optically coupled to one of the at least two output ports of the first coupler and at one of the two output ports of the second coupler.

In accordance with the different aspect of the invention there is further provided, an interleaver/de-interleaver circuit comprising:
a Mach-Zehnder interferometer having two optical branch paths between two 50/50 couplers, one of the two branch paths including an etalon within the path, such that light traversing said one branch path is coupled from one of the couplers to the other after resonating within the etalon, light traversing another of the two branch paths interfering with the light traversing the other branch path within one of the two couplers.

In accordance with the different aspect of the invention, there is still further provided, an interleaver/de-interleaver comprising:
a MZ-interferometer having an input/output port and two output/input ports;
a GT resonator optically coupled with the MZ- interferometer, the GT resonator for providing additional filtering and for lessening the sinusoidal shape of de-interleaved channels.

In accordance with the invention, there is provided, a filtering device comprising:

an asymmetric interleaver/de-interleaver having an optical resonator for multiplexing and de-interleaving two streams of optical signals, the two streams having substantially different bandwidths.

Detailed Description

In general, the spectral characteristics of an etalon filter are determined by the reflectivity and gap spacing of the mirrors or reflective surfaces. The Fabry-Perôt principle allows a wideband optical beam to be filtered whereby only periodic spectral passbands are substantially transmitted out of the filter. Conversely, if the reflectivity of the mirrors or reflective surfaces are selected appropriately, periodic spectral passbands shifted by d nanometers are substantially reflected backwards from the input mirror surface. In adjustable Fabry-Perôt devices, such as one disclosed in United States Patent number 5,283,845 in the name of Ip, assigned to JDS Fitel Inc, tuning of the center wavelength of the spectral passband is achieved typically by varying the effective cavity length (spacing).

Referring now to Fig. 2^(A), an optical circuit is shown for demultiplexing a channeled optical signal, that is, a signal comprising multiplexed closely spaced channels, into a plurality of less-dense channeled signals each comprising a plurality of multiplexed less closely spaced channels. Operating the circuit in a first direction wherein the circuit performs a multiplexing function on a plurality of channels launched into an end of the circuit, it is an interleaver circuit, and in an opposite direction wherein the circuit performs a demultiplexing function on a composite signal launched therein at an opposite end to provide a plurality of demultiplexed channels it serves as a de-interleaver circuit. However, the term interleaver circuit shall be used hereafter to denote this interleaver/de-interleaver circuit. One such interleaver circuit is disclosed as a comb splitting filter in U.S. Patent No. 5,680,490 in the name of Cohen.

In Fig. 2^(A), the optical interleaver circuit includes a 3-port optical cavity in the form of a Fabry-Perôt etalon filter 110 (shown in more detail in Fig. 3) having a first partially reflective end face 110a and a second partially reflective end face 110b. The Fabry-Perôt etalon has an input port 101 at end face 110b, a second port 102 at the Fabry-Perôt etalon filter reflection end face 110, and a third port 103 coupled to a transmission end face 110a serving as an output port. The Fabry-Perôt etalon filter 110 has two partially reflective mirrors, or surfaces, facing each other and separated by a certain fixed gap which forms a cavity. For the etalon filter 110, for a transmission resonance θ is a multiple of π , and the round trip phase is a multiple of 2π .

A phase shifter for controllably delaying an optical signal passing therethrough is optically coupled with the third port 103 at an end of the Fabry-Perôt etalon 110. A 50/50 splitter 119 is disposed between and optically coupled with an output end of the phase shifter 117 and the second port 102 of the Fabry-Perôt etalon 110. Although shown schematically as having waveguides, for example, optical fibres for directing signals from the etalon to the phase shifter 117 and splitter 119, less preferable free space implementations using mirrors or reflectors are within the capability of one skilled in the art. Of course coupling lenses (not shown) such as GRIN lenses are preferred for coupling light from and or to optical fibres from particular components.

The inventor has recently noticed that a phase difference between the reflected and transmitted E-field phase from an etalon, for example, the etalon 110, remains constant under certain circumstances. Furthermore, when input light is launched into the input port 101 of the etalon, the phase difference between the a resulting signal exiting the end face 103 and a resulting signal exiting the end face 102 is either 0 or π radians, and changes on every spectral transmission resonance. This is illustrated in Fig. 2a) where phase is plotted versus wavelength. The locking of the phase difference between transmitted and reflected E-fields occurs due to multiple interference effects within the etalon.

This invention utilizes this feature by interfering the two resulting signals, by way of example, so that a flat spectral passband filter can be realized. By adjusting the phase

relationship between the two signals exiting opposing faces of the Fabry-Perôt etalon 110, and subsequently interfering these signals, various desired output responses can be realized. Of course, optionally, additional control can be added to either attenuate or amplify one of or both of the two signals. Since the path length difference between the optical fibres between port 2 of the etalon 110 and the 50/50 splitter 119 and between port 3 of the etalon 110 and the 50/50 splitter will likely be other than zero or some exact multiple of the free spectral range of the etalon, provision of the phase shifter 117 ensures a means of adjusting for unwanted or desired phase differences due to path length differences.

If no inherent phase difference is created between the two arms of the interferometer, that is, between the paths between the etalon 110 and the splitter 119, the following outputs will be obtained.

Output from port 3: $E_R e^{j\theta_R} + E_T e^{j(\theta_T - \pi/2)}$

Output from port 2: $E_T e^{j\theta_T} + E_R e^{j(\theta_R - \pi/2)}$

Where θ_R and θ_T are the reflected and transmitted phases created by the etalon. The interferometric output will be given by the general expression:

$$I_{\text{res}} = 1/2(E_R^2 + E_T^2 + 2E_R E_T \cos(\Delta\theta))$$

Where $\Delta\theta$ represents a phase difference between the two E-fields. If $\theta_R = \theta_T$ then the phase difference for both outputs will be $\pi/2$. Also if $\theta_R - \theta_T = \pi$ then again the phase difference for both the outputs would be $\pi/2$. Thus, the interferometric action that is desired does not exist.

However, a $\pi/2$ phase difference is provided in the interferometric arms then the two outputs would be given by:

$$\text{Output from port 3: } E_R e^{j\theta_R} + E_T e^{j(\theta_T)}$$

$$\text{Output from port 2: } E_T e^{j(\theta_T + \pi/2)} + E_R e^{j(\theta_R - \pi/2)}$$

As can be seen from above the outputs from the interferometer now have a π phase shift, which indicates that useful or a desired interferometric action between the two signals can exist. The phase difference for the output at port 3 and the output at port 2 would be $\theta_R - \theta_T$ and $\theta_R - \theta_T - \pi$ respectively. If $\theta_R = \theta_T$ then the phase difference for output the output at port 3 and 2 would be 0 and π respectively. For $\theta_R - \theta_T = \pi$ then output at port 3 and 2 would have a phase difference of π and 0 respectively. Thus channel selection can be realized.

The circuit can operate as a de-interleaver filter, providing the separation of odd channels at one output of the splitter and even channels at a second output of the splitter.

By changing the phase relationship between the signals in the two arms of the circuit, being fed to the splitter, and by changing the reflectivities of the end faces of the etalon, for example to have 60% and 1% reflectivities, the interleaving function disappears and the circuit operates to provide a linearized output. Such a linearized output signal is useful in such applications as wavelength locking, where a linear ramped signal is desired. Furthermore, if the two output signals are subtracted from one another, the effect is further enhanced since no loss of the signal will be induced.

Turning now to Figs. 4a through 4c, an optical device is shown in accordance with the invention embodying a free-space device wherein unguided collimated light propagates within the device. The interleaver/de-interleaver shown has two glass interferometric end plates 42a and 42b (referred hereafter as endplates 42) having a spacer disposed therebetween. The spacer region between the two interferometric end plates 42 has a 50/50 coating (shown) except for where a dotted line is shown. This dotted line represents the region between the plates 42 where the etalon is formed (not shown in detail) of two at least partially reflecting surfaces having an air gap there between having a predetermined dimension of $>5\lambda$ defining the free spectral range of the etalon. Graded index (GRIN) lenses 40a, through 40c in Figs. 4a and 4b serve to provide collimated light through and between the end plates 42, and serve as focusing lenses at output ports. Mirrors 41a and 41b, are disposed at ends of the plates 42 to direct the beam toward a particular port. For example, light launched into an input port at lens 40a is directed at the etalon between the plates. About 50% of the light is transmitted through the front end of the etalon and follows a path wherein the light is incident upon the mirror 41a and it is subsequently directed to the lens 41b; the remaining light is transmitted through the back side of the etalon and impinges upon the mirror 41b where it is subsequently directed to the port at lens 40c. As shown, when channels having centre wavelengths $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_n$ are launched into the port at lens 40a, the channels are de-interleaved at the ports at lenses 40b and 40c into channel groups $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5$ and $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6 \dots$ respectively; thereby providing two de-interleaved groups. Fig. 4b illustrates how the same circuit of Fig. 4a can be used backwards to interleave de-interleaved channels. Furthermore, Fig. 4c illustrates that an extra input port at GRIN lens 40d can be added and the circuit can be used to switch input channels to either output port by appropriately adjusting and controlling the phase.

Referring now to Fig. 5, an optical device is shown in accordance with the invention embodying a free-space device wherein unguided collimated light propagates within the device. The interleaver/de-interleaver shown has two glass interferometric end plates 42 having a spacer disposed therebetween. The end plates and the spacer are joined by optical contacting. These contacting surfaces are polished simultaneously and in the same

orientation in order to keep their surfaces parallel within 10 arc seconds when assembled. The axis of the through hole of the interferometric combiner and the axis of the coating B on each of the interferometric endplates are concentric within 0.1 mm. The interferometric combiner is conveniently embodied by a 50/50 coating. The etalon is absent this coating. The collimating/focusing GRIN lenses shown in Fig. 4 are not shown in Fig. 5, for clarity. Temperature sensors 52 are shown at ends of the plates 52 to determine the relative temperature difference between the two interferometric end plates 42. Heaters 42a and 42b which are conveniently wrapped around the end plates 42 are used with the temperature sensors 52 to control the phase relationship between the transmitted and reflected optical signals passing through opposite ends of the etalon.

Another embodiment of the invention is shown in Fig. 6, where an odd-integer number multi-cavity etalon is shown used in a same manner as was the single etalon described heretofore. Thus light is captured and combined from outermost opposite ports of the multi-cavity etalon structure in accordance with the teaching of this invention. By using multi-cavities, i.e. three etalons, the profile shown in Fig. 6a is acquired wherein there is an increase in the phase at certain portions 62 of the graph which result in a steeper sharper output response. Furthermore, by providing more etalon surfaces, i.e. at least four reflective surfaces in the instance of a three cavity etalon, more control is afforded by being able to change the reflectivities of each surface. Fig. 6b illustrates two plots, one in dotted outline, which represents a portion of an output spectrum for a single cavity etalon and a solid line which represents the same portion of the output spectrum for a three cavity etalon device, in accordance with the invention. Fig. 6c illustrates the circuit in accordance with this invention having a multi-cavity etalon coupled to a combiner.

In previous embodiments of the invention the phase shifter has ensured an effective phase difference of $\pi/2$, so that the phase shift incurred through the 50/50 splitter has been compensated. This, then, has allowed complete constructive and destructive interference to occur in the interferometer outputs. However, if a different phase difference is used, then with a certain combination of reflectivities for the two facets of the etalon, a

linearized intensity variation with wavelength as shown in the graph of Fig. 7 can be achieved. In this example, the reflection coefficients are 0.01 and 0.6 and the phase difference is 0.

Fig. 8 illustrates an alternative embodiment whereby a flat-filter pass-band is provided by using the correct phase difference and reflectivities.

Turning now to Fig. 9 an alternative embodiment of the invention is provided which functionally similar to the embodiment shown in Fig. 2^(A). An interleaver circuit 900 is shown that can be conveniently made using planar waveguide technology. Here the waveguides can, for example, be disposed in glass. The waveguide regions can be doped, ion implanted, or grafted. For example the core light guide regions can be a light transmissive polymer. A first MMI 50/50 coupler 910 having an input port 1 and an output port 2 at a first end is optically coupled to a second, same MMI 50/50 coupler 920 by way of waveguides 912 and 914 disposed therebetween. Two thin partially reflecting plates E and E' are disposed in grooves cut into the waveguides 912 and 914. Plate E, waveguide 912 disposed therebetween, and Plate E' form a first Fabry-Perôt etalon. Similarly, plate E, waveguide 914 disposed therebetween, and Plate E' form a second Fabry-Perôt etalon. An output port 2 of the first MMI coupler 910 and an output port 2 of the second MMI coupler 920 are coupled to input ports 1 and 2 of a third MMI 50/50 coupler 930 having output ports 3 and 4 for carrying signals a_{out1} and a_{out2} respectively.

Prior to describing the operation of the interleaver/de-interleaver circuit 900 Fig. 10 is used as a means of describing the functionality of a four-port 3 dB coupler, similar to the ones shown in Fig. 9. An input signal a_1 provided to port 1 of the coupler 940 is divided equally between ports 2 and 3. After the signals are reflected backward by the mirror, shown, they are combined into port 4 of the coupler not port 1. In this manner, the reflected signal is separated from the input signal without the requirement of an optical circulator. Of course the MMI couplers shown in Fig. 9 could be replaced with 3 dB couplers.

The operation of the circuit of Fig. 9 is similar to the operation of the de-interleaver/interleaver shown in Fig. 2^(A). In Fig. 9 an input signal a_{in} is launched into port 1 and is divided equally into two de-interleaved signals on waveguides 912 and 914 at ports 3 and 4 respectively of the coupler 910. The transmission signal a_t and reflection signal a_r , transmitted through and reflected from the etalon between the couplers 910 and 920 are input into port 1 and 2 of the MMI coupler 930 and are provided as two de-interleaved output signals. Of course, each de-interleaved output stream can be provided to yet another similar de-interleaving circuit for further de-interleaving the channelized signals. For example, at a first stage such as the one described in reference to Fig. 9, channels 1, 3, 5, 7, ... are output on a_{out1} and channels 2, 4, 6, 8, ... are output on a_{out1} . Notwithstanding, channels 1, 3, 5, 7, 9, can be fed to a similar circuit to circuit 900 wherein the etalon has a greater FSR so that two other data streams 1, 5, 9 and, 3, 7, 11 can further be demultiplexed.

Another similar embodiment to that of Fig. 9 is shown in Fig. 11 wherein an etalon 111 is formed between the two MMI couplers 910 and 920 by way of providing a region in each waveguide 912 and 914 wherein the refractive index is different from the refractive index of the waveguides coupled to and adjacent to this region. The etalon region can be a polymer having a suitable refractive index. Of course the length of the etalon, and refractive index difference between the etalon region and adjacent regions must be sufficient such as to provide a desired reflectivity at the interface between different index regions.

Fig. 12 depicts a functionally similar embodiment to a Fabry-Perôt etalon. The circuit shown in Fig. 12 utilizes a ring resonator. An equivalent transfer function of a Fabry-Perôt resonator can be obtained by combining a waveguide ring resonator and two directional couplers as is shown. This is a 3-port device with one input port and two output ports. The signals a_r and a_t at the output ports of the device are equivalent to the reflected and transmitted signals of a Fabry-Perôt resonator. The coupling coefficients of the directional couplers control the finesse of the cavity. The periodic spectral response is determined by the total length of the ring through the following equation:

$$FSR=c/\Delta L$$

where c is the speed of light and ΔL is the optical length through the ring.

An embodiment in accordance with this invention is shown in Fig. 13. The two outputs of the ring resonator are routed to a 3 dB coupler to obtain two interleaved signals, a_{out1} and a_{out2} . An interleaving function can be realized if the optical length AC is equal to the optical length BC, wherein the optical length is the physical length \times the refractive index. Of course the physical length is somewhat restricted by the amount of bending that can be tolerated. In a preferred embodiment, for interleaving, the coupler is a 50/50 coupler. The coupler at C can be a directional coupler or an MMI coupler. In a preferred embodiment the couplers at A and B are 17.1% / 82.9% couplers, such that 82.9% of the light is coupled into the ring, and 17.1% of the light passes through the waveguides adjacent the ring.

Figs. 14 and 15 show the spectral amplitude and the phase responses of the two outputs, a_r and a_t , of the ring resonator. Figure 16 shows the phase difference between the two outputs, a_r and a_t , of the ring resonator. The phase difference alternates between $-\pi/2$ and $+\pi/2$ over consecutive wavelength channels equivalent to the FSR of the ring resonator. Finally, Figure 17 shows the spectral transmissions of the two de-interleaved signals, a_{out1} and a_{out2} , at the outputs of the waveguide coupler interferometer

Of course numerous other embodiments may be envisaged, without departing from the spirit and scope of the invention. For example, the etalon or multi-cavity etalon can be a tunable etalon.

Furthermore, the monolithic waveguide devices described in accordance with this invention, more particularly the embodiments shown in Figs. 9, 11, and 13 can be fabricated in such a way as to make them relatively temperature stable by permanently tuning the device. In any of these embodiments one of the arms, a_r or a_t can be doped, for example with germanium and subsequently exposed to UV light, in order to vary the

refractive index of a particular section of the doped arm. Alternatively, exposing one arm to light of a suitable intensity and duration can in some instances yield a required refractive index change to permanently tune the device. This is a convenient method shown in Fig. 18 of permanently adjusting the phase relationship between the two arms a_r and a_l thereby yielding very temperature tolerant devices.

An alternative embodiment of the invention is shown in Fig. 19 wherein a de-interleaver/interleaver is shown. In this instance the locations A and B are shown to be 90 degrees apart. The relationship between the locations A, B, and C are as follows:

$AB + BC - AC = L_{ring}/2$, where L_{ring} is the length of the ring resonator.

Figs. 20a, 20b, and 20c illustrate approximate power coupling ratios in couplers A, B, and C.

The prior art circuit of Fig. 21 has an improved response over the use of a known asymmetric Mach-Zehnder interferometer filter, which is sinusoidal in output response. Notwithstanding, it is difficult to implement a low loss ring resonator with 100 GHz or 50 GHz FSR. Another advantage of the MZ interferometer of Fig. 21 is that it obviates the use of circulator, required in a typical bulk optics Michelson interferometer combined with a GT device.

An embodiment of this invention is shown in Fig. 22 implemented using waveguide technology based on an MZ interferometer combined with a GT resonator. The length of the arms 18a and 18b in combination are of a different length than the arm 18c. A 4-port 3dB coupler 20b is disposed between arms 18a and 18b optically connecting ports of two 3dB couplers 20a and 20c. At an end of the 3dB coupler 20b is GT resonator, which is formed by providing a mirror 24b at one end of two waveguides 22a and 22b and by disposing a partially reflecting plate 24a within a groove across the waveguides 22a and 22b. The mirror has a reflectivity E' and the partially reflecting plate 24a has a reflectivity $E < E'$. Preferably, the mirror 24b is 100% reflective. The couplers 20a and 20c are both 3dB couplers. Fig. 23 shows in more detail the functionality of an MMI

3dB coupler such as 20b having a mirror at ports 2 and 3. It becomes clear after understanding the operation of the 3dB coupler with a mirror that an optical circulator heretofore required in a Michelson GT resonating device, is not required. The input signal a_1 launched into port 1 is divided equally between ports 2 and 3. When signals a_2 and a_3 are reflected back by the mirror, they are combined into port 4 of the coupler and not port 1. This is due to phase relations in the 3dB coupler. In this manner the reflected signal from the mirror is separated from the input signal without use of an optical circulator.

The operation of the Mach-Zehnder Gires Tournois (MZGT) circuit of Fig. 22, 24, and 25 is similar. These devices are polarization interleavers. Only one of vertical or horizontal polarized light of wavelength $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ is launched into input port 1 of the coupler 20a. If only vertically or only horizontally polarized light is launched into the device at the output of the device wavelengths/channels are de-interleaved; channels corresponding to wavelengths $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots$ are directed to one output port of the coupler 20c and channels corresponding to wavelengths $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \dots$ are directed to the other output port of the coupler 20c.

If the input light is not horizontally or vertically polarized, the device will not function as a wavelength de-interleaver. Hence this device is useful in transmission schemes that rely on wavelength polarization interleaving. Although the circuit is shown for performing polarization interleaving, it can be used in an opposite direction to de-interleave channels as well. If light launched into the device is, for example polarized at 45 degrees, the output arms would both provide adjacent channels having $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \dots, \lambda_N$ wherein adjacent channels corresponding to these wavelengths would be orthogonally polarized, wherein the outputs would have inverse polarizations on each port for same channels. Fig. 26 which will be described in more detail hereafter, compensates for this behaviour such that the device is no longer polarization dependent.

Referring now to Fig. 24, an alternative embodiment is shown wherein the resonator is formed by employing two materials having different refractive indices. Light is partially

reflected at the boundary of the two materials due to Fresnel reflection. The difference between the refractive indices has to be relatively high to achieve the desired reflectivities. A waveguide 41a having a refractive index n_1 is directly coupled to a waveguide having a refractive index 42a. Waveguides 41b and 42b are disposed in parallel forming the GT resonator.

Another embodiment of the invention is shown in Fig. 25 which is a hybrid device where an MZ interferometer has been combined with a micro-optic GT resonator. The shorter arm 18a of the MZ is coupled to a beam collimator 52 such as a graded-index lens. The resonating cavity is formed of a partially reflecting spacer 54 having a reflectivity E separated by a mirror 56 having a reflectivity E' by a spacer 58.

Fig. 26 illustrates another embodiment of the invention similar to that of Fig. 25 however a beam collimator 62 and a mirror 66 are disposed in the pair of upper arms 68a and 68b. The circuits of Figs. 26 - 28 provide embodiments of the invention wherein the device functions as a polarization-independent wavelength interleaver by way of having the mirror 66 and beam collimator 62 disposed in the upper arm.

Fig. 27 is a folded version of the device shown in Fig. 26. An additional spacer 74 is disposed in the upper arm of the MZ to provide a required length difference between the two arms of the MZ.

Fig. 28 illustrates an embodiment similar to that of Fig. 27, wherein a 4x4 MMI coupler of length $3 L_{\pi}/2$ replaces the two 50/50 couplers shown in Fig. 27.

Fig. 29 illustrates the spectral phases of the optical fields of the MZ-resonator interferometer after the second 3dB coupler. The phase of the signal propagating within the longer arm of the MZ is a linear ramp (dashed line); the other curve represents the phase response of the GT resonator.

Fig. 30 shows the phase difference between the two optical fields of the MZ-resonator interferometer after the second 3dB coupler. The phase difference alternates between 0 and $+\pi$ over consecutive wavelength channels equivalent to the FSR of the resonator.

Fig. 31a) shows the spectral transmissions of the two de-interleaved signals a_{out1} and a_{out2} , at the output ports of the MZ-resonator interferometer. Fig. 31b) illustrates an expanded view of -1 to 0dB range shows the ripples in the response. The reflectivity R_1 of the partially reflecting plate is 0.1.

Fig. 32a) shows the spectral transmissions of the two de-interleaved signals a_{out1} and a_{out2} , for a different value of the reflectivity of the partially reflecting plate. It is seen from Figs 31a) and 32a) that by increasing the reflectivity of the partially reflecting plate, R_1 , the response roll-off becomes steeper and both the channels bandwidth and cross-talk window increase while the side lobe levels also increase. This is illustrated more clearly in Table 1. Similar values for a well-designed coupler interferometer interleaver are shown in Table 2 to make the comparison more understandable. It is evident that the MZ-resonator interferometer has a steeper roll-off and, consequently better performance than the coupler interferometer in terms of cross-talk.

Table 1 Channel bandwidth and the cross-talk window for MZ-resonator interferometers with different values of the reflectivity of the partially reflecting plate, R_1 . Note that all bandwidth values have been normalized against the channels spacing, which is taken as 1.

R_1	1-dB BW	-15 dB x-talk window	-30 dB x-talk window
0.1	0.85	0.635	0.34
0.17	0.89	0.736	0.57

Table 2 Channel bandwidth and the cross-talk window for a coupler interferometer.

$R_1=R_2$	1-dB BW	-15 dB x-talk window	-30 dB x-talk window
0.17	0.8	0.51	0.22

In the various embodiments of the invention, the free spectral range (FSR) of the GT-resonator is given by

$$FSR_{GT} = c/(2d)$$

where c is the speed of light in a vacuum and d is the optical length of the resonator cavity. The free-spectral range of the spectral response of the above interleavers are given by

$$FSR_{INTERLEAVER} = c/(d)$$

Furthermore, the design of the aforementioned interleavers require that the optical length difference between the two arms of the MZ interferometer be exactly equal to the optical length, d , of the resonator cavity.

The GT resonator is placed on the shorter arm.

The interleavers described heretofore, in principle, all result in symmetric odd and even channels. Notwithstanding, the embodiment shown in Fig. 33 can be designed to provide either symmetric or asymmetric channels. In some instances, asymmetric interleaved channels are desired.

Referring now to Fig. 33, an interleaver is shown based on an MZ-interferometer combined with two GT resonators. The lengths of the cavities of the two GT resonators slightly differ from each other. The length difference between the two arms is approximately equal to the difference between the two lengths of the two cavities. The longer cavity is placed on the shorter arm. The free-spectral range of the spectral response of the interleaver is given by

$$FSR_{\text{INTERLEAVER}} = c/(d_1+d_2)$$

where c is the speed of light in a vacuum and d_1 and d_2 are the optical path lengths of the two GT resonator cavities. The choice of values of d_1 and d_2 determine whether the interleaver is symmetric or asymmetric. The length difference between the two arms of the MZ and the reflectivity R_1 of the front fact of the GT resonator depend on the choice of values of d_1 and d_2 . The interleaver is symmetric if $d_2 - d_1 = (p+1/4)\lambda$, where λ is the wavelength and p is an integer number. Then the reflectivity $R_1 = 0.172$ and the length difference between the two arms of the MZ is equal to $(p+1/4)\lambda$. This relation is true if the input coupler is a standard 2x2 coupler. If the input coupler is a centre-fed 1x2 MMI coupler or a Y-junction coupler, then the length difference between the arms is equal to $p\lambda$. In the optimum case, $p=0$. The interleaver would be asymmetric for all other values of d_2-d_1 .

An advantage of the device of Fig. 33 compared with the device of Fig. 26 is that it requires temperature stabilization only in the GT cavity, whereas the device of Fig. 26, similar to an MGTI device requires temperature stabilization both in the cavity and in the arms.

Fig. 34 illustrates the phase difference between the two optical fields travelling through the device after the second 3dB coupler. The phase difference alternates between 0 and $+\pi$. Fig. 35 shows the spectral transmissions of the two de-interleaved signals at the outputs of the device. Figs. 34 and 35 correspond to an interleaver that has been designed to be symmetric. Equivalently, Figs. 36 and 37 correspond to a device that has been designed to be asymmetric.

An alternative embodiment of the invention is shown in Figs. 38a) and 38b). In contrast to the embodiment shown in Fig. 33, this embodiment only requires a single GT resonator. The locations of the four waveguides (or optical fibres) at the input of the beam collimator has to be chosen appropriately so that the two angled paths through the GT result in slightly different FSR's as required in the design. The first 3dB coupler,

preferably a 50/50 coupler has two output waveguides coupled directly to a single GT resonator consisting of a partially reflecting surface illustrated by a dotted line and having a mirror 156 at another end. Disposed between is a beam collimator 152 and a spacer 158.

Furthermore, the monolithic waveguide devices described in accordance with this invention can be fabricated in such a way as to make them relatively temperature stable by permanently tuning the device. In any of these embodiments one of the arms, a_1 or a_2 can be doped, for example with germanium and subsequently exposed to UV light, in order to vary the refractive index of a particular section of the doped arm. Alternatively, exposing one arm to light of a suitable intensity and duration can in some instances yield a required refractive index change to permanently tune the device. This is a convenient method of permanently adjusting the phase relationship between the two arms a_1 and a_2 thereby yielding very temperature tolerant devices.

Referring now to Fig. 39, an interleaver/de-interleaver circuit in accordance with another embodiment of this invention is shown, wherein two GT etalons 222 and 224, each having a different free-spectral range (FSR) are directly coupled with a wavelength independent, polarization insensitive 50/50 beam splitting cube 218. The FSR of this device is given by $FSR_{\text{interleaver}} = c/(d_1 + d_2)$, where c is the speed of light in a vacuum and d_1 and d_2 are the optical path lengths of the two GT resonator cavities. The selection of values of d_1 and d_2 determine whether the interleaver will be symmetric or asymmetric. The optical length difference between the two arms of the interferometer and the reflectivity R_1 of the front face of the GT resonators 222 and 224 depend upon the choice of values of d_1 and d_2 . In the instance where the difference in path length between the two cavities $d_2 - d_1 = (p/2 + 1/4)\lambda$, where λ is the wavelength and p is an integer, the device provides interleaving/de-interleaving that results in symmetric odd and even channels; hence the channels are all of substantially the same bandwidth. A reflectivity R_1 of the both front partially transmissive reflectors 226 of the two GT etalons 222 and 224 is selected to be 0.18 and the optical length difference between the two arms of the cube is equal to $l_1 - l_2 = (q/4 + 1/8)\lambda$, where q is an integer. In the optimum case, $p=0$ and $q=0$.

However reflectivities of 0.17 to 0.19 have been found to be suitable for symmetric interleavers. The interleaver is asymmetric for all other values of d_2-d_1 ; as a general rule, for the asymmetric interleaver, the length difference (l_2-l_1) would be slightly smaller than d_2-d_1 if $(d_2-d_1)<\lambda/4$, and the length difference would be slightly larger than d_2-d_1 if $(d_2-d_1)>\lambda/4$. Simulation has indicated that reflectivities of up to 30 percent are suitable for values of R_1 for asymmetric interleavers.

Fig. 40 shows an alternative embodiment of an interleaver circuit in accordance with this invention similar to Fig. 39, however having an input beam being launched via a beam collimator in the form of a graded-index (GRIN) lens 330 at an angle rather than being normal to the end face of the beam splitting cube 318. This substantially lessens the complexity of the optical circuit by providing one input port 333a and two separate output ports 333b and 333c. In contrast, the circuit shown in Fig. 39 has one input/output port 223a and one output port 223b; to couple light outward from the output end of the input/output port an optical circulator or out-coupling device is required, adding to the cost and complexity of the device. Of course, it should be realized, that when the circuit of Fig. 40 is being used as an interleaver instead of a de-interleaver, the two output ports 333b and 333c serve as input ports, and the input port 333a serves as an output port for carrying an interleaved stream of channels. Although the circuit of Fig. 39 is not shown having a beam collimating/focusing lens coupled to ports 223a and 223b, the circuit requires such a lens at each port for coupling between the beam splitting cube and optical waveguides. In the circuit of Fig. 39 light is launched along an optical axis of such a lens. In Fig. 40, the positioning of the ports equidistant and offset by a predetermined amount at the outward end face of the beam collimator 330 provides the required angle.

An alternative embodiment of the invention is shown in Fig. 41, wherein a beam splitting cube is made up of two portions, a first being of a refractive index n_1 and a second being of a refractive index n_2 . Here, the physical lengths of the two halves are equal, however the optical path lengths are slightly different as required.

Figs. 42 and 43 illustrate another feature of polymer materials. Their path length change with temperature change is quite significant. In fact this property can be used in combination with glass or silica to fabricate hybrid thermo-optically tunable Fabry-Perôt tunable filters.

In Figs. 44 and 45 two Fabry-Perôt etalons are shown wherein a rubbery polymer expandable with the application of heat is utilized as a means of varying the gap between two reflective surfaces. Silicon is used as a heat-sink so that the response time of the device may be increased. Thus when heat is no longer applied, the silicon will provide a means of quickly conducting this heat energy to the case to which it is bonded. Or stated differently, the provision of the heat sink assists in bringing the polymer to ambient temperature.

The thermal expansion of the rubbery polymer film is enhanced (by a factor of 3) due to the fact that the film cannot expand in-plane because it is coupled to a non-expanding substrate. The high Poisson modulus of polymers and especially rubbery polymers enhances the out-of-plane expansion to let the volume expansion fully take place.

By utilizing the properties of the rubbery polymer film described above, the interleaver/de-interleaver can be tuned to provide an device having an asymmetric output signal from a device that was symmetric in output response, or vice versa. The center wavelength can be tuned by varying the FSR; these two are related and one cannot be changed without varying the other one.

Thus, on a limited scale, tuning to achieve symmetric or asymmetric channels can be achieved by varying the thickness the gaps on both GT etalons; if the center wavelength is already at the right position, the size of both gaps should be changed to keep the center wavelength fixed. However, tuning for symmetry or asymmetry on a larger scale requires changing (I1-I2) and the reflectivity R1 as well as the two gaps.

Turning now to Fig. 47 an alternative embodiment of the invention is shown. Two blocks 141a and 141b of fused silica having a reflective 50/50 coating 143 is disposed therebetween forming two beam splitters/combiners that are utilized to direct an input beam to two GT etalons 145a and 145b disposed beside the two blocks. A spacer block 149 separates each etalon and the input output1 and output2 lenses. The etalons 145a and 145b are comprised of a spacer element made of a material such as zerodur having a low thermal coefficient of expansion. Each etalon also has a fully reflective end face having a reflectance $R_2=100\%$ and an opposing surface having a reflectance $R_1=18.5\%$. The etalon 145a has a gap defined by the spacer 145a of d_2 , and the etalon 145b has a gap defined by the spacer 145b of d_1 . The length of the fused silica blocks 141a and 141b are l_2 and l_1 respectively. The relationships between d_1 and d_2 are such that $d_2-d_1 = (p/2+1/4)\lambda$. The relationship between l_1 and l_2 are such that $l_1-l_2 = (q/4+1/8)\lambda$, where $\lambda = 1546$ nm in free space. Input and output ports are disposed at output end faces of Selfoc graded index lenses 142a, 142b, and 142c.

The operation of the circuit of Fig. 47 is as follows. A beam of light incident upon the GRIN lens 142a of its optical axis is directed at an angle through the lens and through its optical axis as it exits the lens. The beam impinges the reflective coating of the beam splitting filter at 143 at half of the beam is reflected backwards while the other half continues along a straight through path into the etalon 145b. The reflected light that is reflected from the filter 143 is directed into the GT etalon 145a. After the two beams pass through the respective etalons they are reflected outward and combine at the filter 143 and are directed to respective output ports 142b and 142c.

Although the configuration of the optical circuit shown in Fig. 47 is different than that shown in previous embodiments, the functionality and basic components are the same.

4 Brief Description of Drawings

Exemplary embodiments of the invention will now be described in conjunction with the drawings in which:

Fig. 1^(A) is a circuit block diagram of a prior art Michelson-Gires-Tournois interferometer;

Fig. 1a) is logarithmic graph plotting phase versus wavelength for a two output Michelson-Gires-Tournois interferometer;

Fig. 1b) is a graph of a simulated output response of a Michelson-Gires-Tournois interferometer;

Fig. 2^(A) is a circuit block diagram of a single etalon interferometric structure in accordance with the invention;

Fig. 2a) is a graph plotting phase versus wavelength for a two output etalon in accordance with this invention;

Fig. 3 is a more detailed diagram of the etalon shown in Fig. 2^(A) in accordance with the invention;

Fig. 4a) is a circuit block diagram of an alternative embodiment of the structure shown in Fig. 2^(A), wherein two light transmissive blocks are utilized as combining regions;

Fig. 4b) is a circuit block diagram similar to the one shown in Fig. 4a) wherein the circuit is operated in a reverse mode of operation;

Fig. 4c) is a similar circuit block diagram to Figs 4a) and 4b), wherein a fourth port is added;

Fig. 5 is a detailed block diagram depicting a preferred embodiment similar to the one shown in Figs 4a) to 4c);

Fig. 6a) is a graph of an output response of phase versus wavelength for a multi-cavity etalon shown in Fig. 6c);

Fig. 6b) is a graph depicting the output response of a single cavity etalon and of a multiple cavity etalon;

Fig. 6c) is a circuit diagram of an alternative embodiment of the invention wherein a multi-cavity etalon is used;

Fig. 7 is a graph depicting a linearized intensity output response of an alternative embodiment of the invention;

Fig. 8 is a graph depicting a an output response of an alternative embodiment of the invention where the reflectivities and phase are selected such that a band pass filter is provided;

Fig. 9 is a circuit diagram of an alternative embodiment of the invention wherein planar waveguide technology is utilized;

Fig. 10 is a more detailed schematic diagram of an MMI coupler used in the circuit of Fig. 9 wherein the operation of the coupler is described in accordance with this figure;

Fig. 11 is a circuit diagram of an alternative embodiment of the invention to that shown in Fig. 9, wherein two etalons are created by providing regions within the planar waveguide having a different refractive index than in an adjacent region;

Fig. 12 is a block circuit diagram of ring resonator used and is a functional equivalent to the Fabry-Perôt resonator shown in previous embodiments;

Fig. 13 is a block circuit diagram of yet an alternative embodiment of the invention wherein ring resonator is utilized;

Figs. 14 is a graph of transmission versus relative wavelength showing spectral amplitude response of the two outputs a_r and a_l of the ring resonator, and Fig. 15 is a graph of the spectral phase response of the two outputs of the ring resonator respectively;

Fig. 16 is a graph of phase difference versus relative wavelength between the two outputs a_r and a_l of the ring resonator showing the phase difference alternating between $-\pi/2$ and $+\pi/2$ over consecutive wavelength channels equivalent to the FSR of the ring resonator;

Fig. 17 is a graph of transmission versus relative wavelength depicting the spectral transmissions of the two interleaved signals a_{out1} and a_{out2} at respective outputs of the coupler interferometer;

Fig. 18 is a circuit diagram of the basic circuit shown in Fig. 11 wherein a region of the waveguide between the first coupler and the third coupler is doped to become more light sensitive to effect a controlled refractive index change by being irradiated by a light source;

Fig. 19 is a circuit diagram of a circuit shown in accordance with an embodiment of the invention for providing a de-interleaver/interleaver function;

Fig. 20a) is a circuit diagram of a portion of the circuit shown in Fig. 19; and,

Figs. 20b) and 20c) are circuit diagrams of portion of the circuit shown in Fig. 19.

Fig. 21 is a schematic diagram of a prior art wide-band guided-wave periodic multi/demultiplexer with a ring resonator for optical FDM transmission systems;

Fig. 22 is a schematic diagram of an embodiment of a WDM interleaver/de-interleaver circuit based on a waveguide MZ-interferometer combined with a GT resonator in accordance with the invention.

Fig. 23 is a schematic diagram of a 3 dB MMI coupler illustrating diagrammatically the functionality of the device;

Fig. 24 is a schematic diagram of an alternative embodiment of a WDM interleaver/de-interleaver circuit based on a waveguide MZ-interferometer combined with a GT resonator in accordance with the invention similar to that shown in Fig. 22 however having a resonator made by employing two materials having different refractive indices in the waveguides;

Fig. 25 is a schematic diagram of an alternative embodiment of a WDM interleaver/de-interleaver circuit based on a waveguide MZ-interferometer combined with a GT resonator in accordance with the invention wherein a micro-optic GT resonator is provided;

Fig. 26 is a schematic diagram of an alternative embodiment of a WDM interleaver/de-interleaver circuit based on a waveguide MZ-interferometer combined with a GT resonator in accordance with the invention having a mirror added to the upper arm of the MZ to balance the polarization-dependent behavior of the device;

Fig. 27 is a schematic diagram of an embodiment of the invention showing a folded version of the device of Fig. 26; a spacer is introduced into the upper mirror to account for length difference between the two arms;

Fig. 28 is a device similar to that of Fig. 27 wherein the two 50/50 couplers have been replaced with a 4x4 MMI coupler of length $3L_{\pi}/2$;

Fig. 29 is a graph of the optical fields of the MZ-resonator interferometer after the second 3dB coupler.

Fig. 30 is a graph depicting the difference between the optical fields of the MZ-resonator interferometer after the second 3dB coupler.

Figs. 31(a) and 31(b) are graphs of spectral transmissions of the two de-interleaved signals a_{out1} and a_{out2} at the outputs of the MZ-resonator interferometer;

Figs. 32(a) and 32(b) are graphs of the spectral transmissions of the two de-interleaved signals a_{out1} and a_{out2} at the outputs of the MZ-resonator interferometer;

Fig. 33 is a schematic diagram of a WDM interleaver that can be designed to be either symmetric or asymmetric;

Fig. 34 is a graph of phase difference between the two optical fields of the interleaver 33 after the second 3dB coupler;

Fig. 35 is a graph of transmission versus optical frequency showing the spectral transmissions of the two de-interleaved signals at the output of the device of Fig. 33, wherein the device is designed to be symmetric;

Fig. 36 is a graph of phase difference versus optical frequency depicting the phase difference between the two optical field of the interleaver in Fig. 33 after the second 3dB coupler, wherein the device is designed to be asymmetric;

Fig. 37 is a graph of transmission versus optical frequency depicting the spectral transmissions of the two de-interleaved signals at the output of the device of Fig. 33, wherein the device is designed to be asymmetric;

Fig. 38a) is an alternative embodiment of the invention wherein only one GT resonator is used; and,

Fig. 38b) is a detailed view of a portion of the circuit shown in Fig. 38a)

Fig. 39 is a circuit block diagram of a 2-port GT interleaver/de-interleaver circuit in accordance with this invention;

Fig. 40 is an alternative embodiment of a 3-port GT interleaver/de-interleaver circuit in accordance with this invention;

Fig. 41. illustrates an alternative embodiment of the invention is shown in wherein a beam splitting cube is made up of two portions, a first being of a refractive index n_1 and a second being of a refractive index n_2 wherein, the physical lengths of the two halves are equal, however the optical path lengths are slightly different as required.

Figs. 42 and 43 illustrate another feature of polymer materials. Their path length change with temperature change is quite significant. In fact this property can be used in combination with glass or silica to fabricate hybrid thermo-optically tunable Fabry-Perôt tunable filters.

Fig. 44 is a diagram of a thermo-optic Fabry-Perôt tunable filter in accordance with an aspect of this invention;

Fig. 45 is a diagram of a an alternative embodiment of a thermo-optic Fabry-Perôt tunable filter in accordance with an aspect of this invention;

Fig. 46 is a diagram of a an alternative embodiment of a thermo-optic Fabry-Perôt tunable filter in accordance with an aspect of this invention; and,

Fig. 47 is diagram an alternative more compact embodiment of the invention.

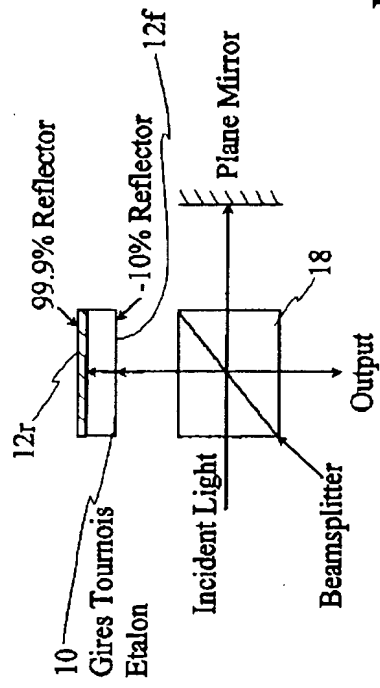


Fig. 1

(A)

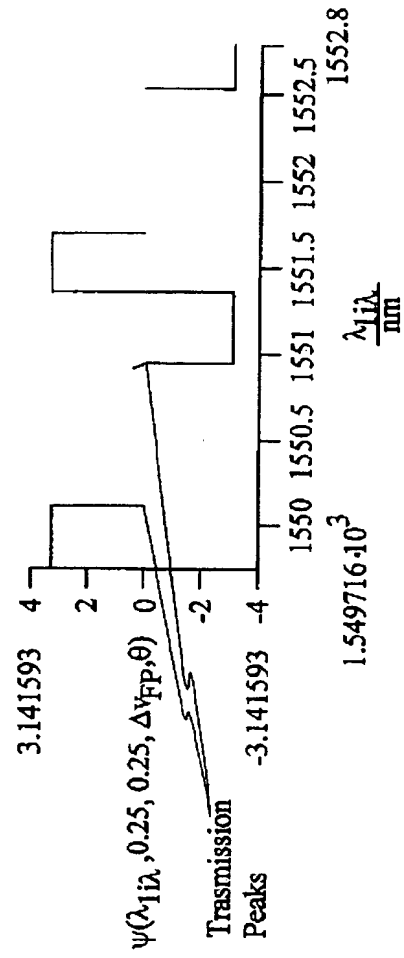


Fig. 2

(a)

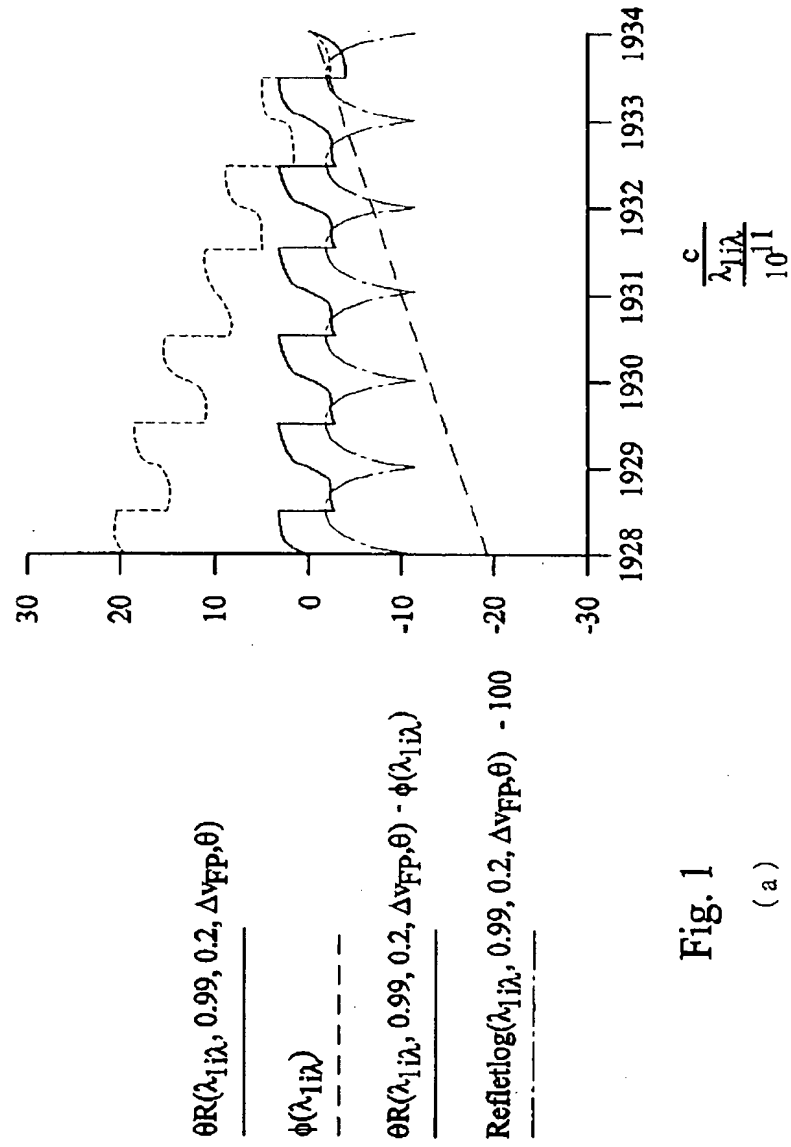


Fig. 1
(a)

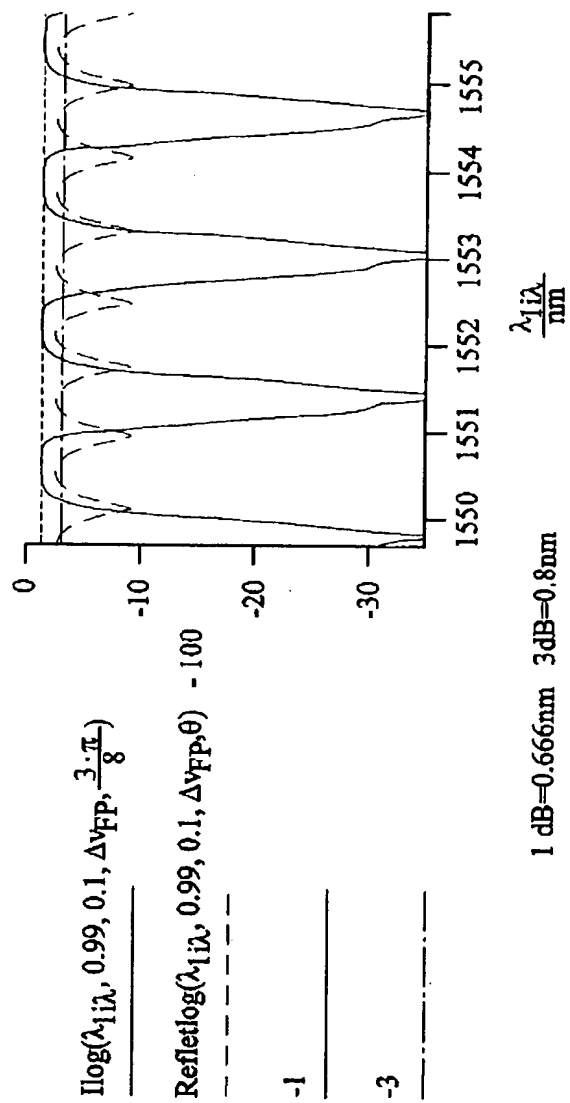


Fig. 1

(b)

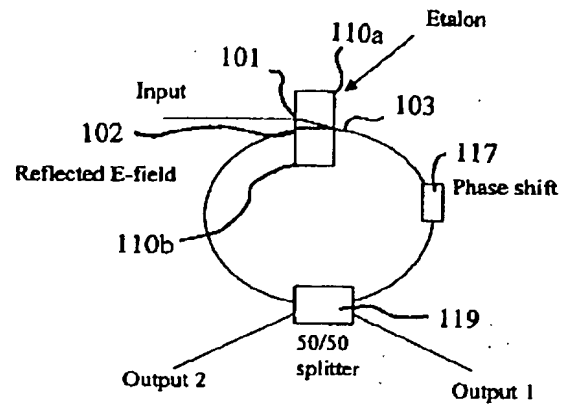


Fig 2
(A)

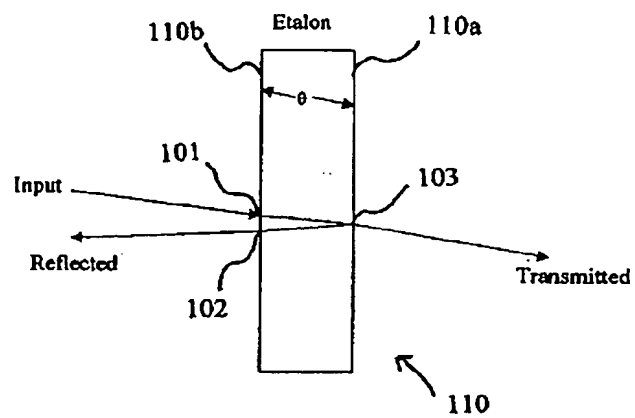
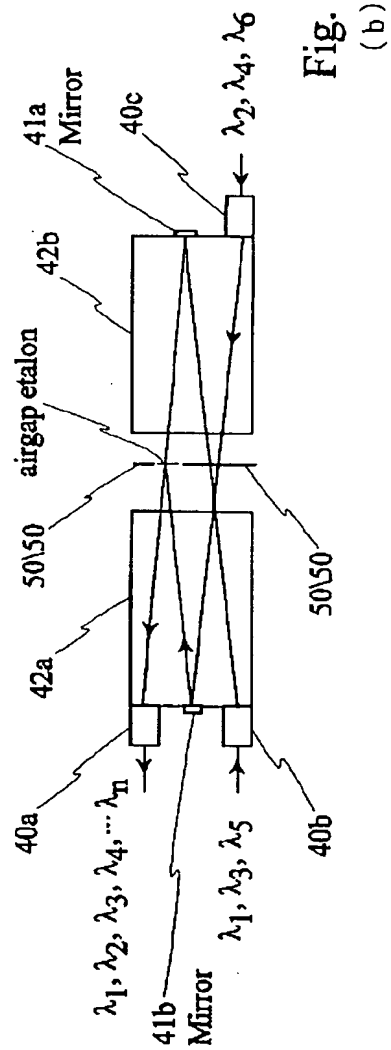
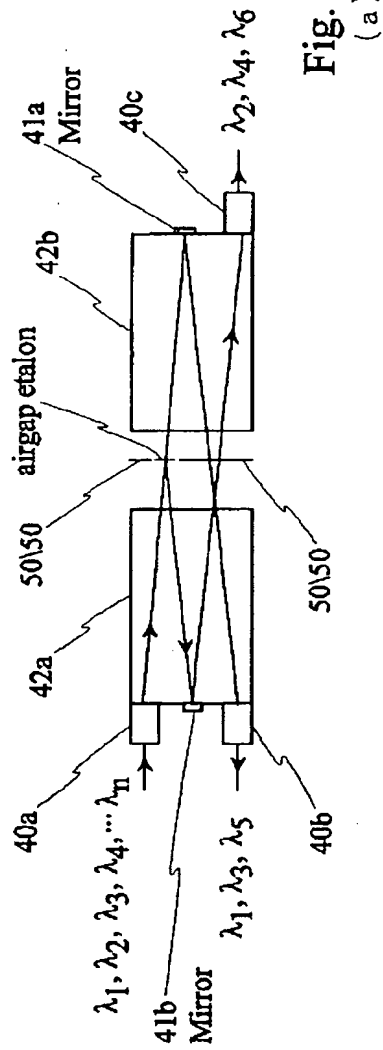
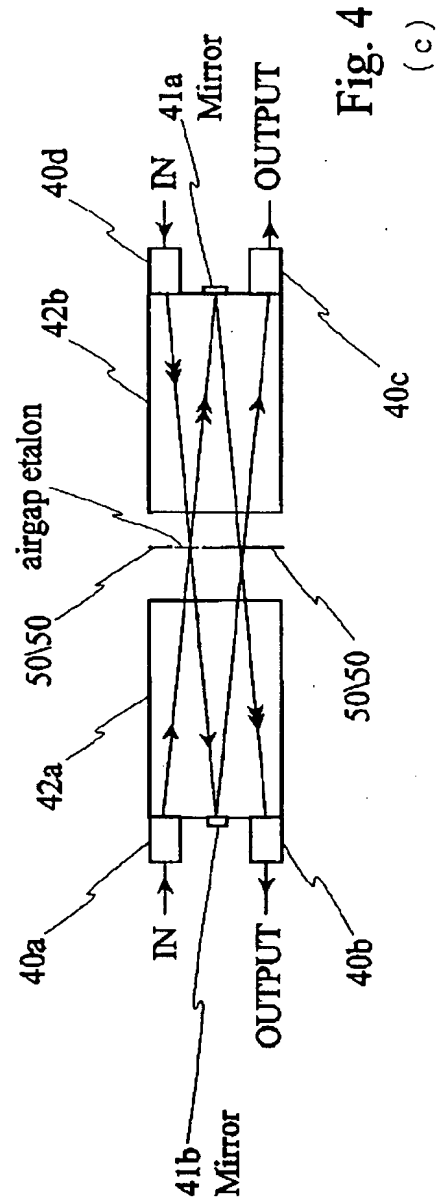


Fig. 3





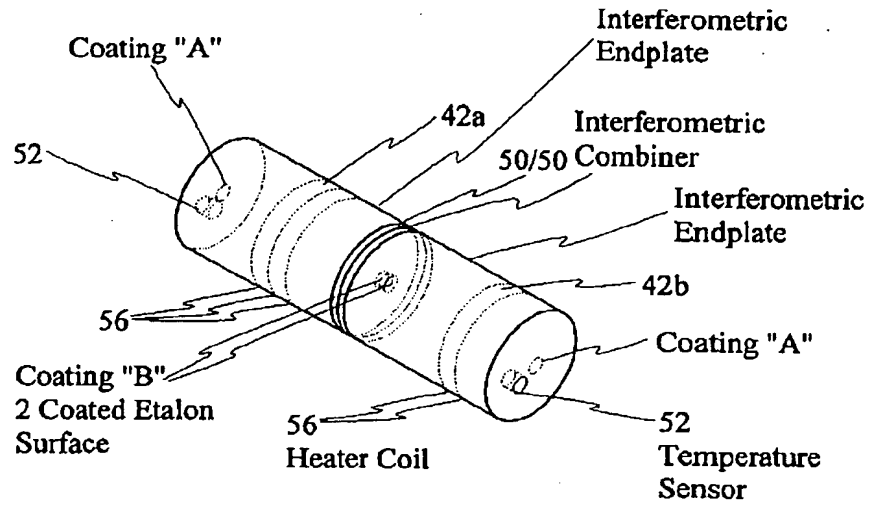


Fig. 5

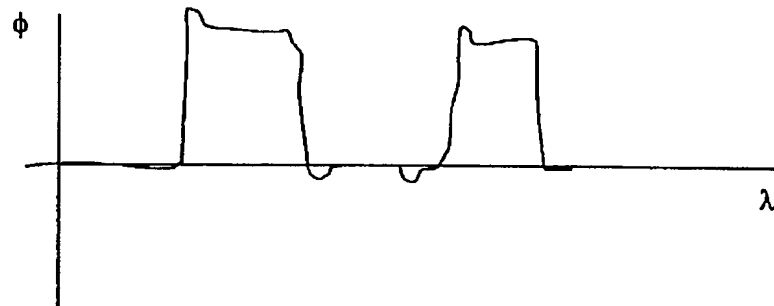


Fig. 6

(a)

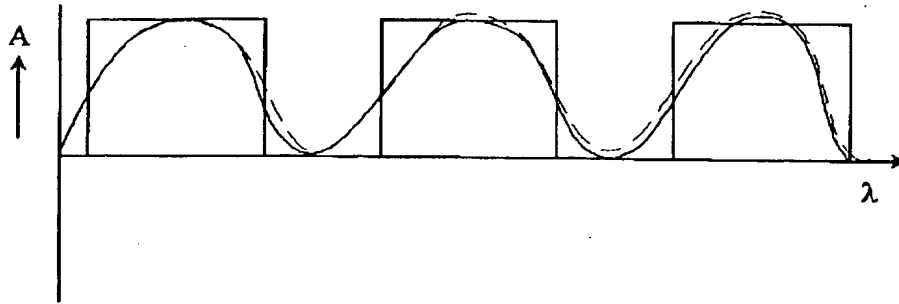


Fig. 6

(b)

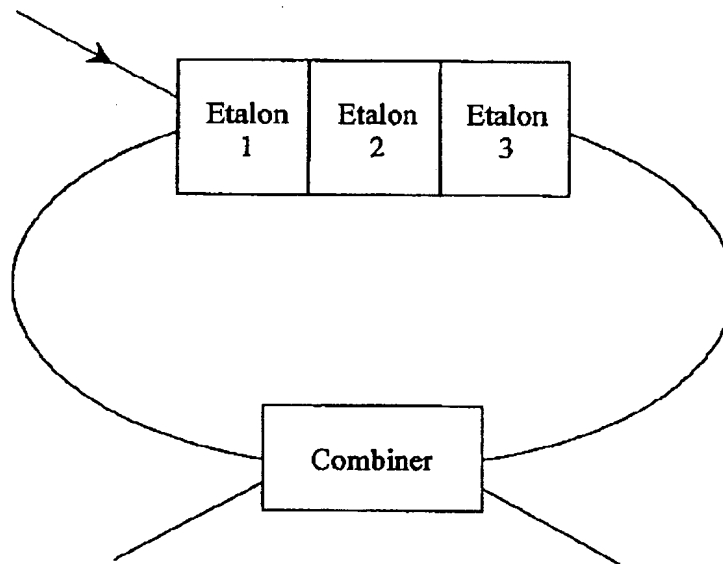


Fig. 6

(c)

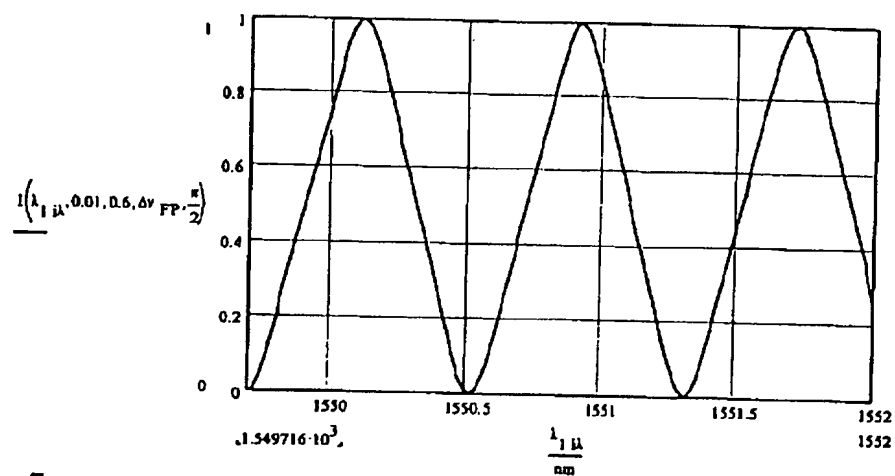


Fig. 7

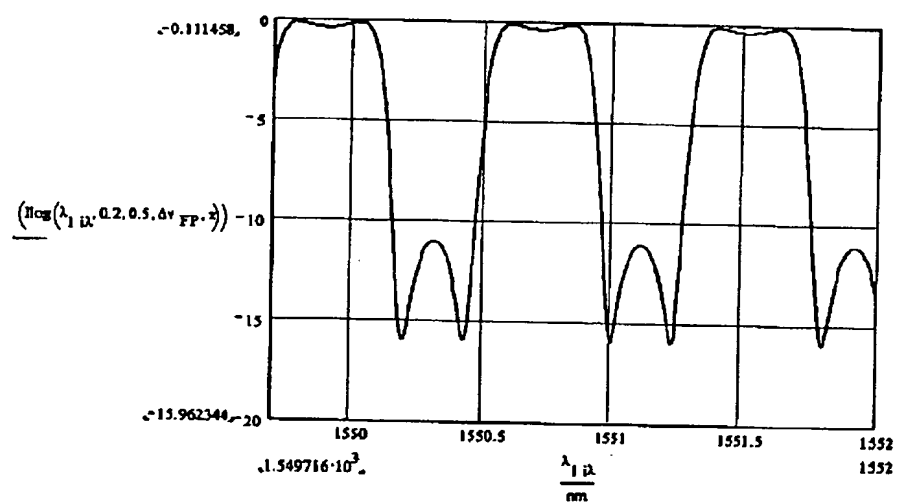


Fig. 8

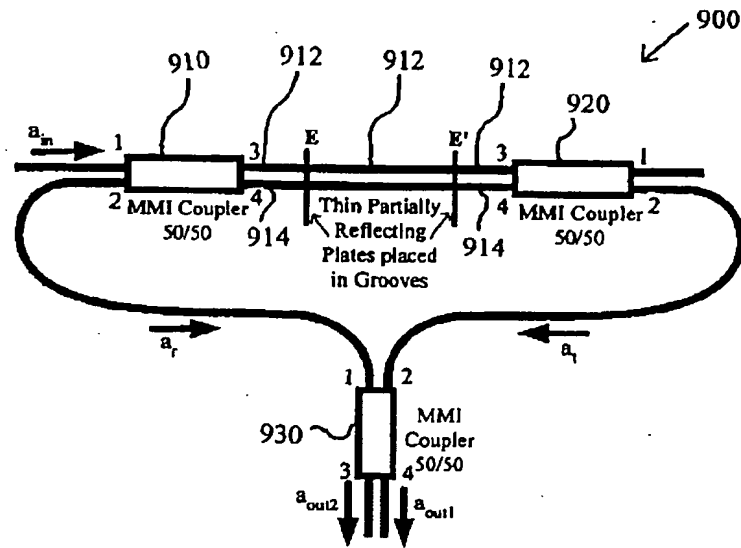


Fig. 9

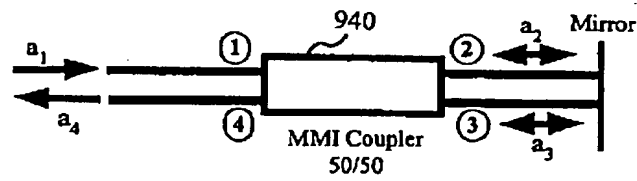


Fig. 10

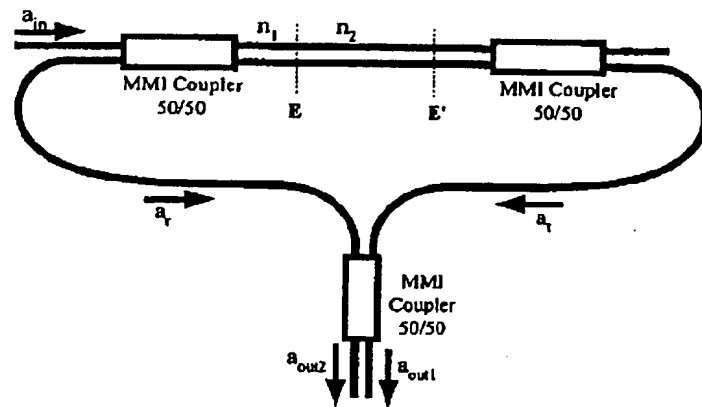


Fig. 11

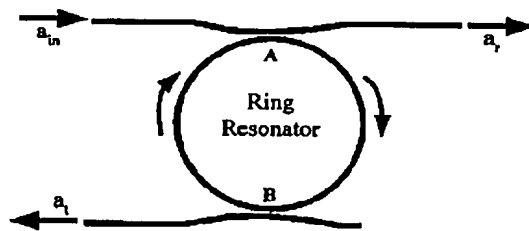


Fig. 12

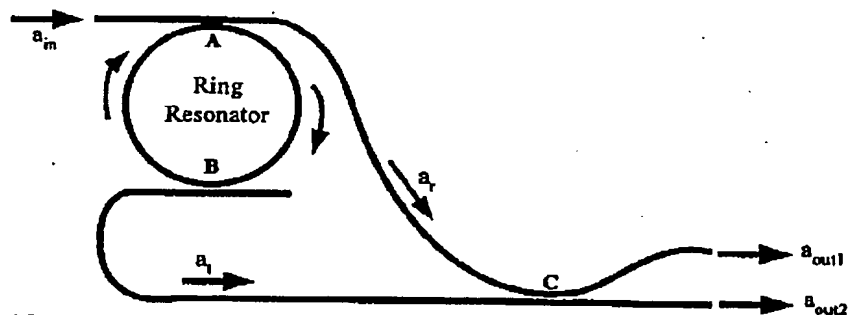


Fig. 13

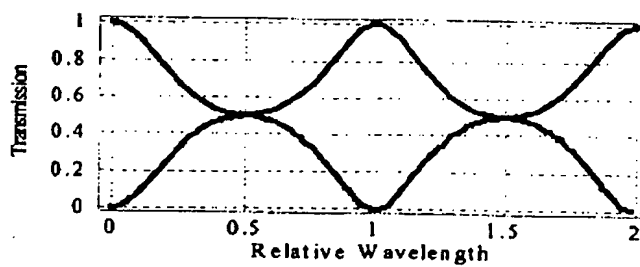


Fig. 14

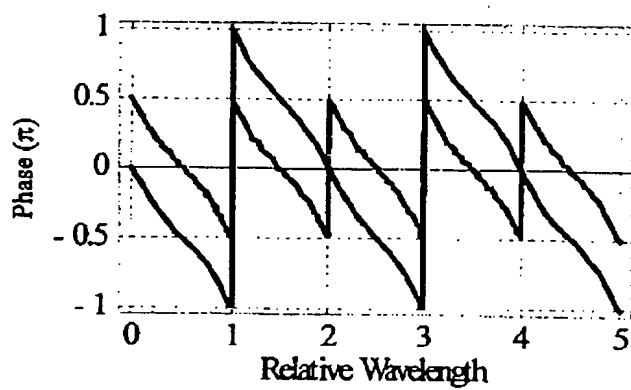


Fig. 15

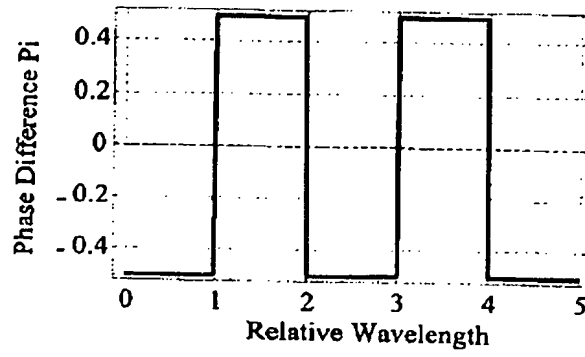


Fig. 16

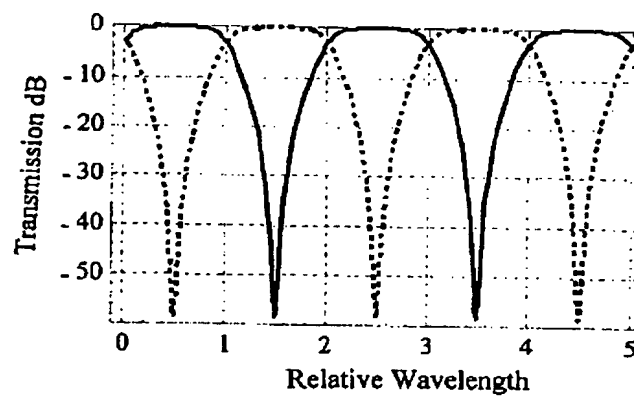


Fig. 17

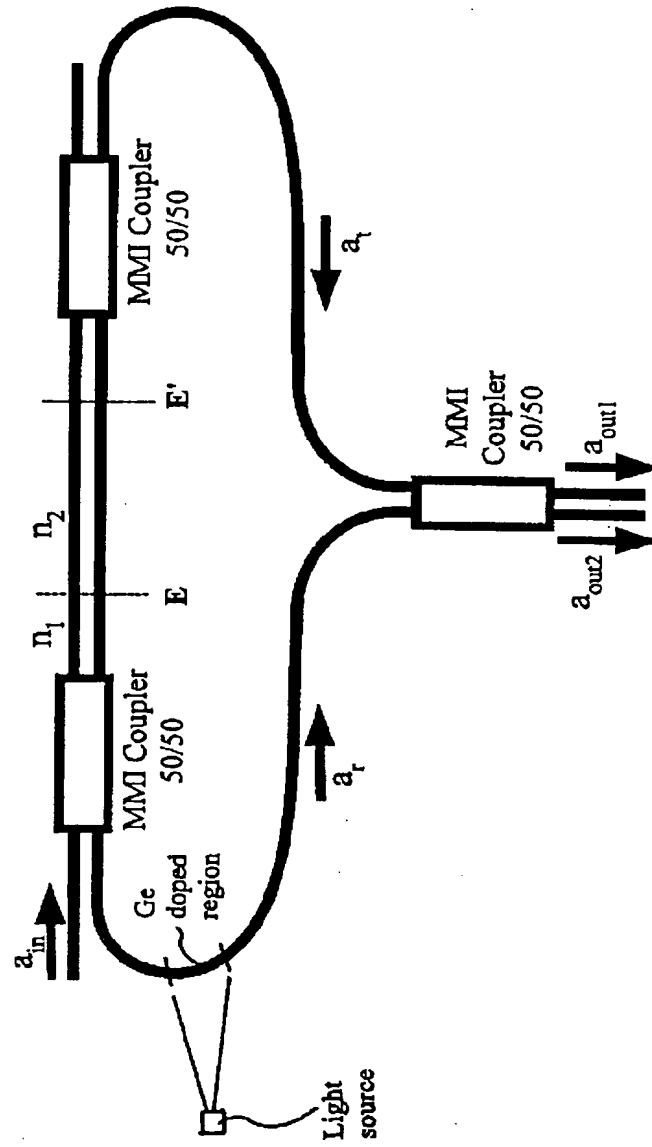
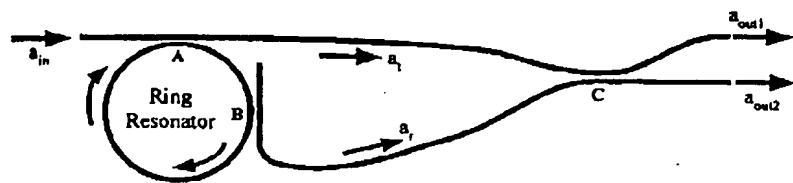


Fig. 18

**Fig. 19**

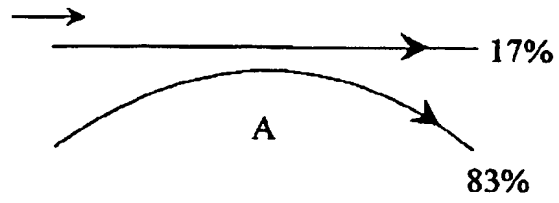
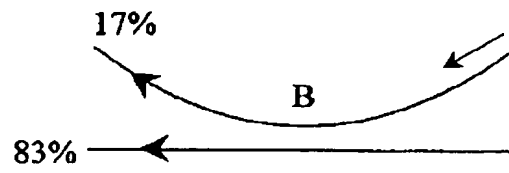


Fig. 20
(a)



or

Fig. 20
(b)

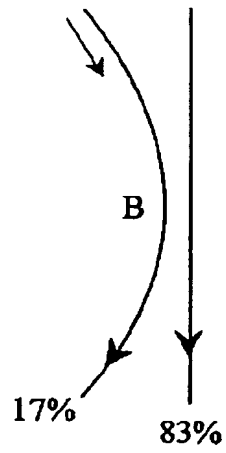


Fig. 20
(c)

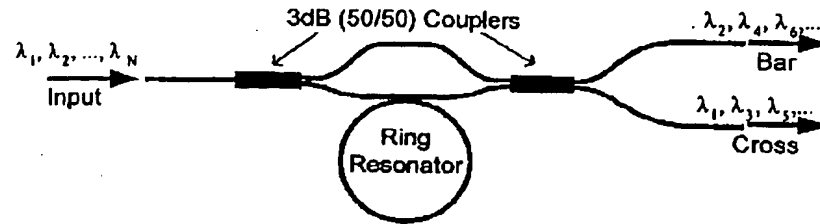


Fig. 21
Prior Art

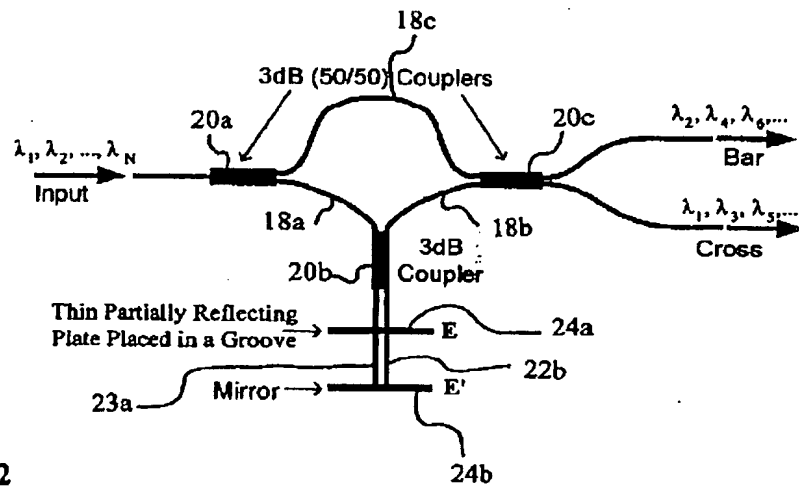


Fig. 22

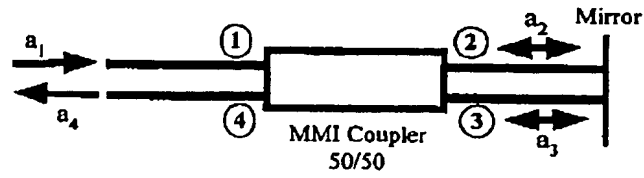


Fig. 23

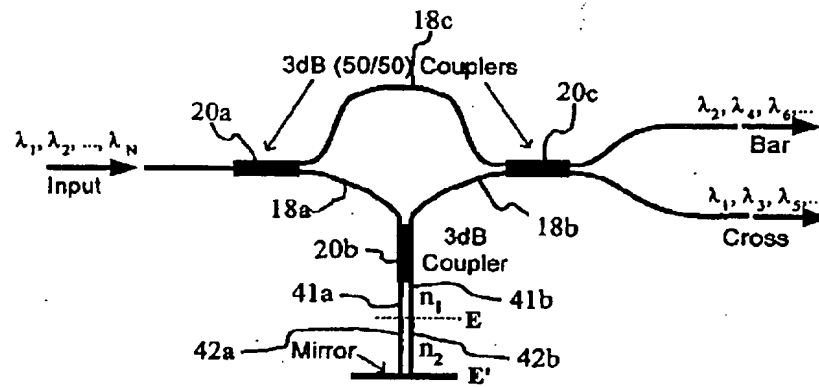


Fig. 24

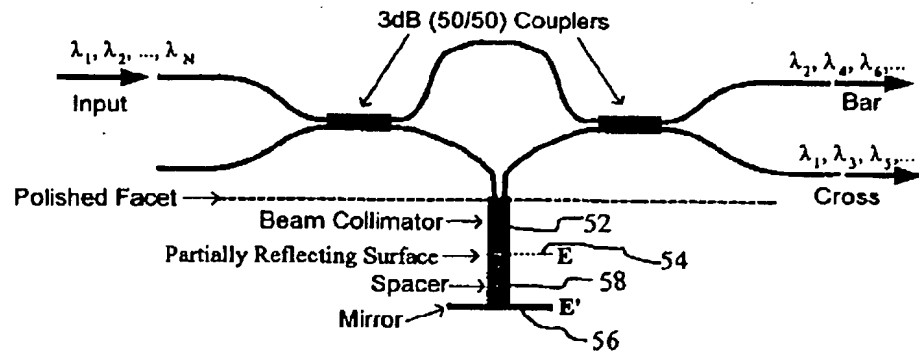


Fig. 25

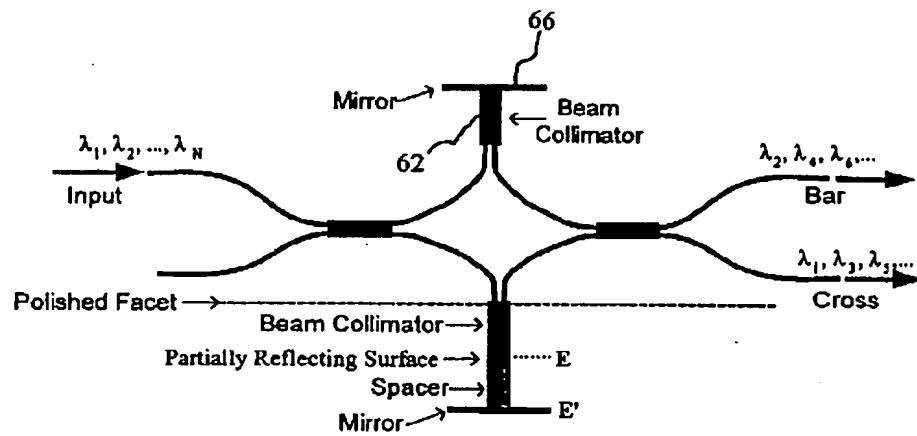


Fig. 26

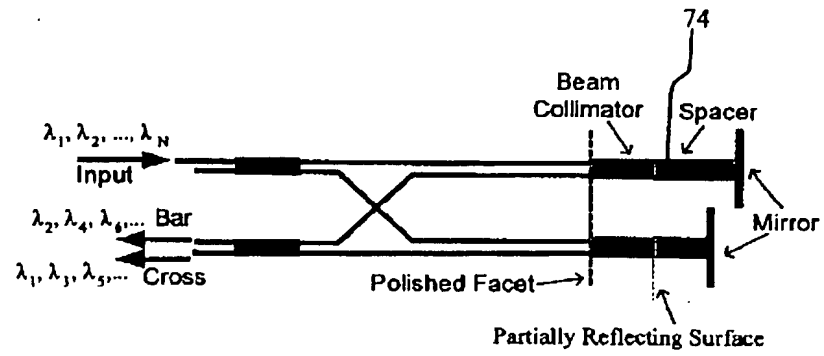


Fig. 27

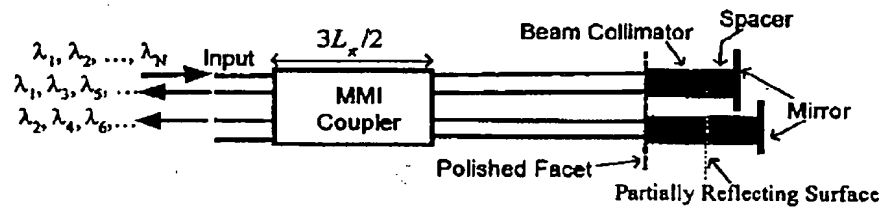


Fig. 28

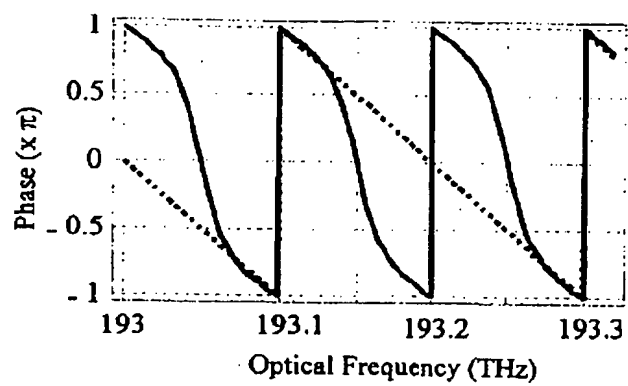


Fig. 29

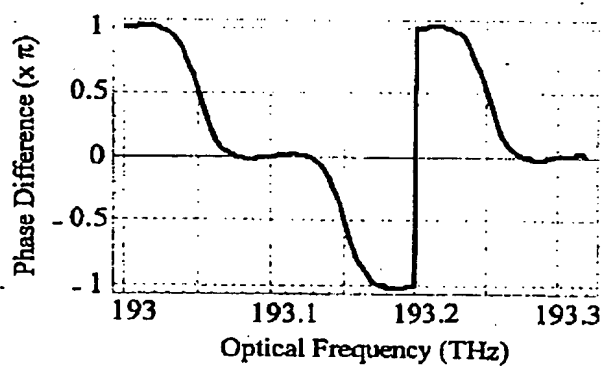


Fig. 30

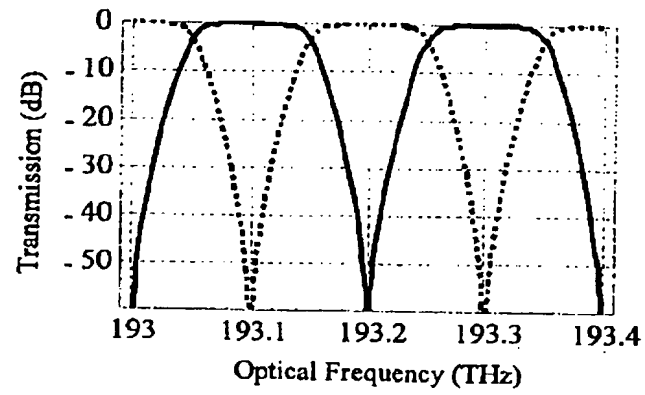


Fig. 31
(a)

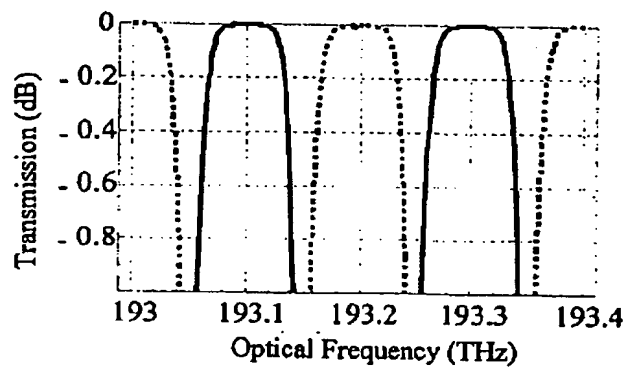


Fig. 31
(b)

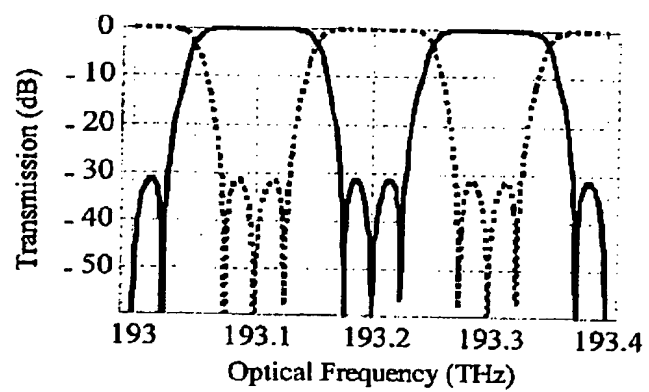


Fig. 32
(a)

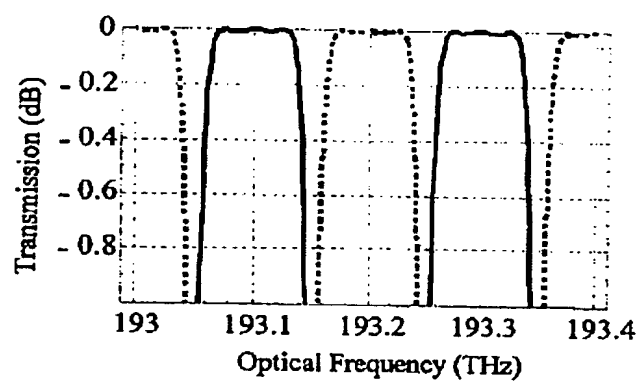


Fig. 32
(b)

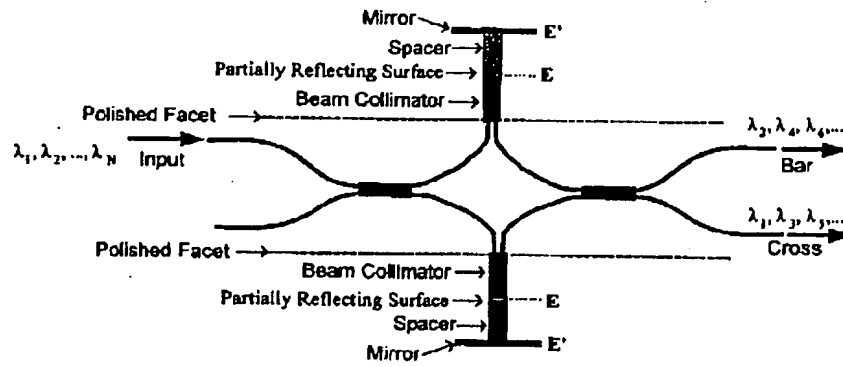


Fig. 33

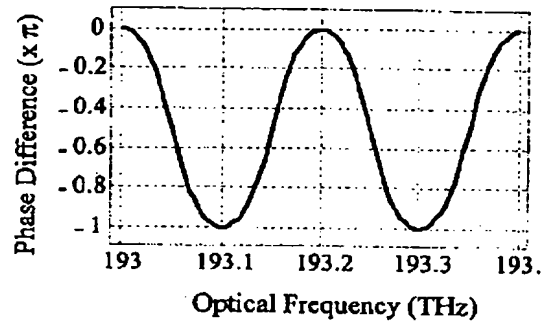


Fig. 34

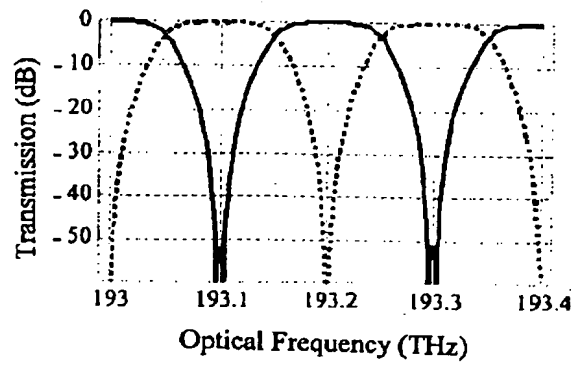


Fig. 35

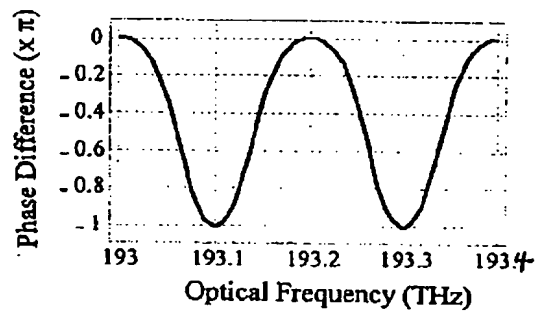


Fig. 36

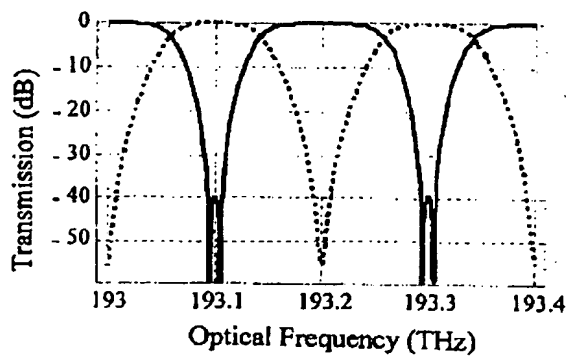


Fig. 37

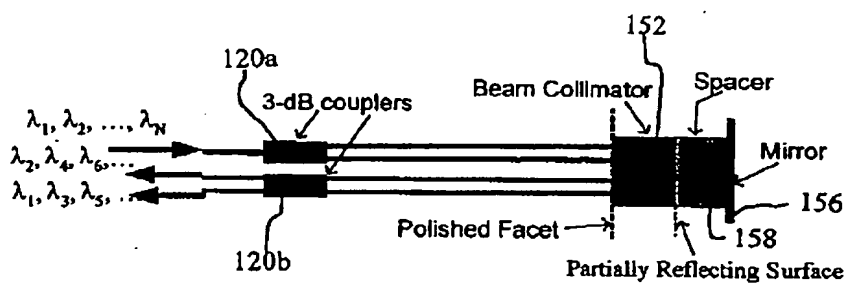


Fig. 38

(a)

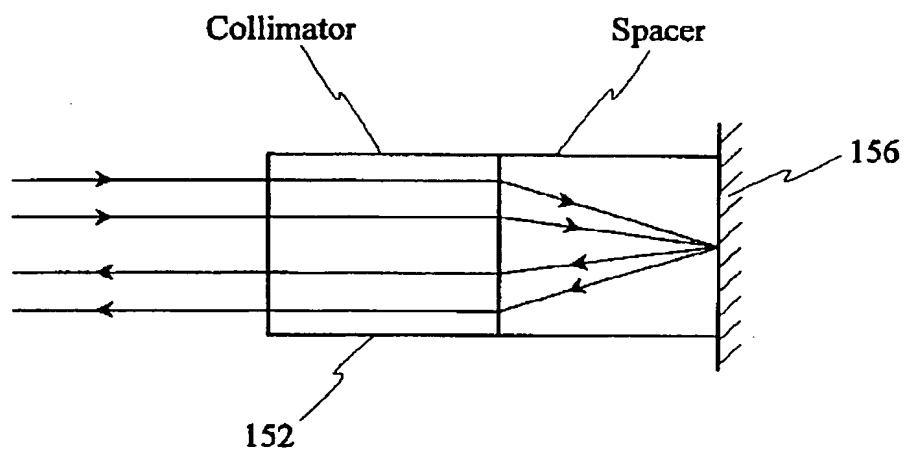
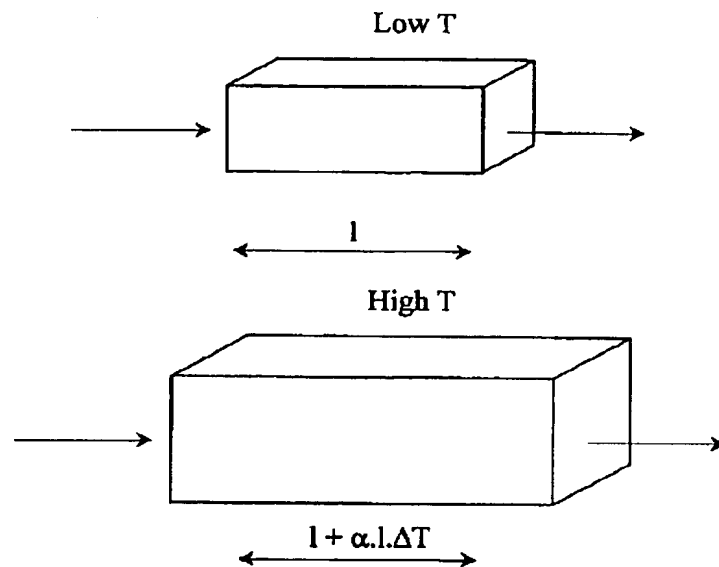


Fig. 38

(b)

Thermal Change of Optical Pathlength in Bulk Material



Optical pathlength: $S = n \cdot l$

$$dS/dT = (dn/dT) \cdot l + (dl/dT) \cdot n$$

$$dS/(dT \cdot S) = dn/(dT \cdot n) + \alpha$$

$$dS/(dT \cdot S) \sim 0.5\gamma/1.5 + 1/3 \cdot \gamma$$

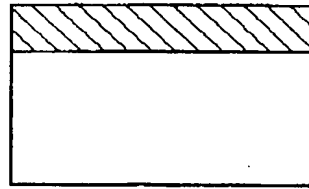
$$dS/(dT \cdot S) \sim 0$$

For Polymers

Fig. 42

Thermal Change of Optical Pathlength in Constrained Thin Film

Low T



\leftrightarrow l

Optical pathlength: $S=n.l$

$$dS/dT = (dn/dT).l + (dl/dT).n$$

$$dS/(dT.S) = dn/(dT.n) + \alpha$$

Polymers: $\alpha = \gamma = \nu(1+\nu)/(3(1-\nu)) \sim \gamma = 3\alpha$

$$dS/(dT.S) \sim -0.33\gamma + \gamma$$

$$dS/(dT.S) \sim 0.67\gamma = 0.67\gamma(1+\nu)/(3(1-\nu))$$

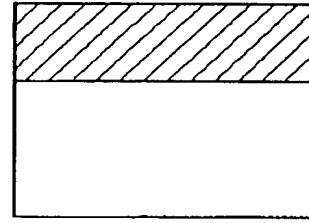
$$dS/(dT.S) \sim 0.56\gamma = 1.7\alpha \sim 1.7 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ for glassy polymers}$$

$$dS/(dT.S) \sim 0.67\gamma = 2.0\alpha \sim 6.0 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1} \text{ for rubbery polymers}$$

Silicon: $(dl/dT).n \sim 0$

$$dS/(dT.S) \sim dn/(dT.n)$$

$$dS/(dT.S) \sim 5.7 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1} \text{ for silicon}$$



\leftrightarrow $l + \alpha.l.\Delta T$

$$(dn/dT).\Delta T$$

Fig. 43

Thermo-Optic Fabry-Perot Tunable Filter

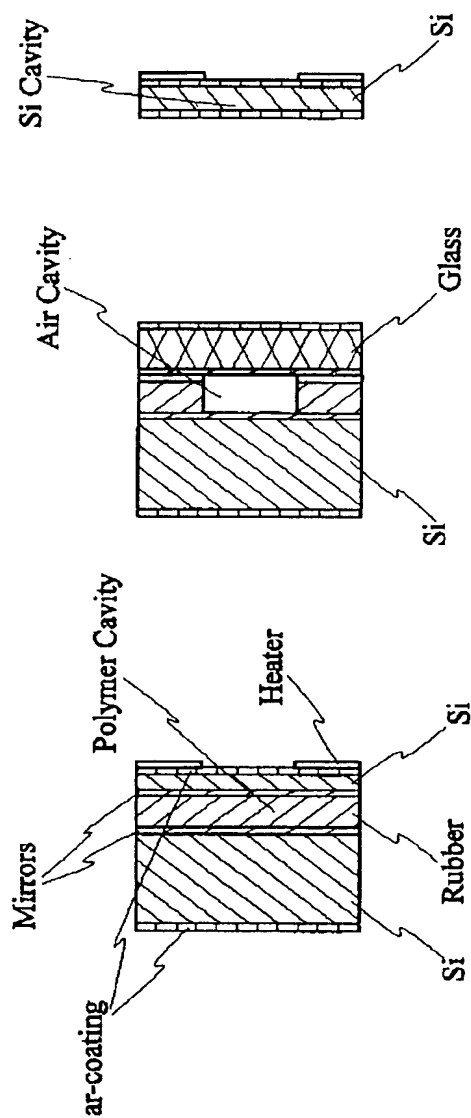


Fig. 44

$$dS/(dT.S) \sim 6 \times 10^{-4} K^{-1}$$

Fig. 45

$$dS/(dT.S) \sim 9 \times 10^{-4} K^{-1}$$

Fig. 46

$$dS/(dT.S) \sim 6 \times 10^{-5} K^{-1}$$

Control

1) by temperature, via TCR of (Ni) heater

2) by capacitance of (part of) cavity

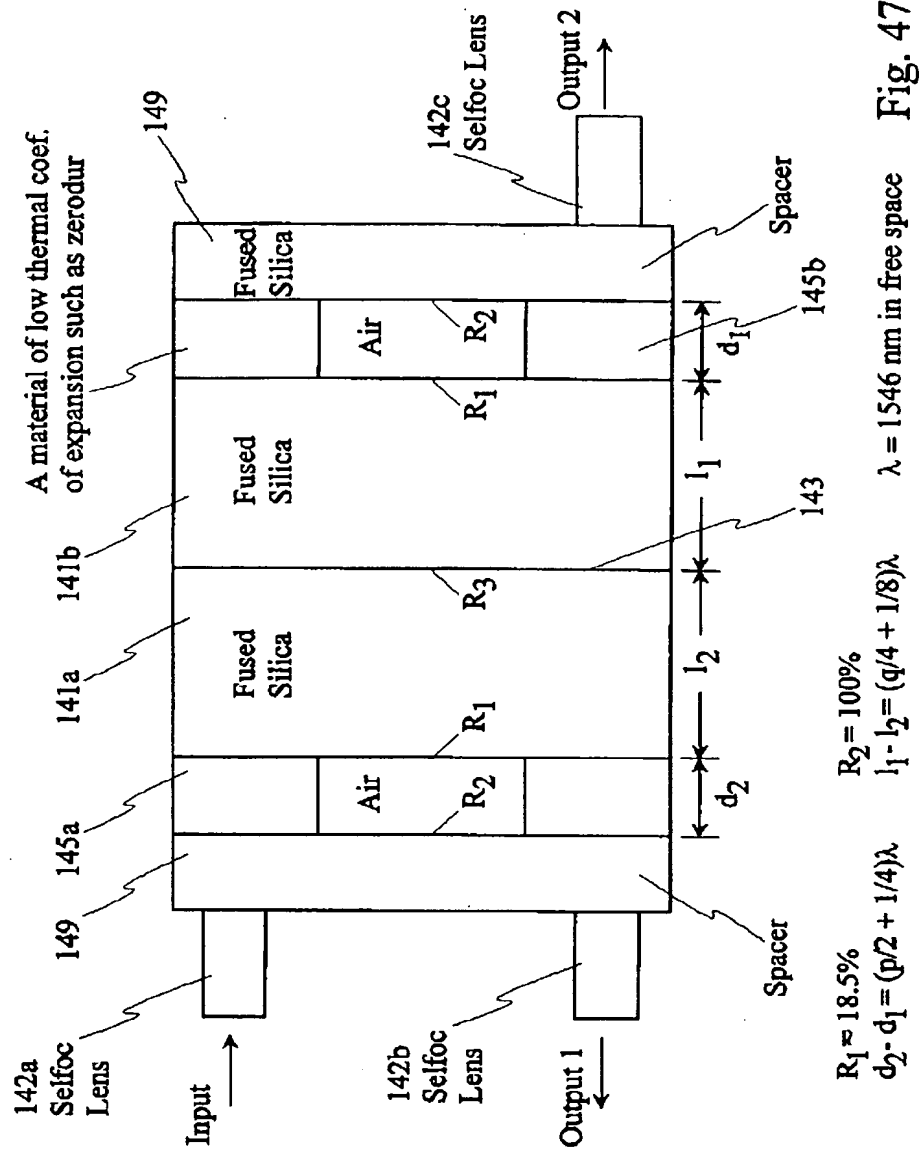


Fig. 47

1 Abstract

A method and circuit is disclosed wherein two waveguides coupled to an optical resonant ring resonator are further coupled such that beams propagating therein interfere with one another to provide a desired output response. In one embodiment, multiplexed channels of light can be demultiplexed by the device described heretofore, or alternatively, the phase relationship between these two beams can be altered prior to their being combined to provide, for example, a linearized output response useful in applications such as wavelength locking. By varying the reflectivity of the FSR and the coupling ratios and/or by varying the phase relationship between the two beams, a variety of desired output responses can be realized. By providing suitable coupling ratios and providing optical path lengths of the two waveguides which are identical between the ring resonator and the couplers coupling the two waveguides as well as having the couplers placed 180 degrees opposite to each other, an interleaver/de-interleaver function is realized.

2 Representative Drawing

Fig. 2

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.